

**EVALUACIÓN DEL TIPO DE FERMENTADOR EN LA CALIDAD FINAL DE UNA
MEZCLA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)**

HEIDI BRIGGITY HORTA TELLEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agroindustrial**

Directores

ANGELICA PIEDAD SANDOVAL ALDANA

PhD. Ingeniería de Alimentos

IVONNE XIMENA CERÓN SALAZAR

PhD. Ingeniería Automática

UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

IBAGUÉ-TOLIMA

2017

**COMITÉ DE INVESTIGACIONES
ACTA DE SUSTENTACIÓN**

**Estudiante: Heidi Briggity Horta Tellez
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

TITULO: "Evaluación del tipo de fermentador en la calidad final de una mezcla de cacao (Theobroma cacao L.)"

Fecha Sustentación: 23 de octubre

Directoras: Angélica Piedad Sandoval Aldana e Ivonne Ximena Cerón Salazar.

Jurado No.1: Melanie Teresa Ramírez

Jurado No.2: Yanneth Bohorquez Pérez

Factores Evaluados	Jurado 1	Jurado 2	Definitiva
Relevancia Científica (30%)	4,8	4,6	4,7
Complejidad y Profundidad (20%)	4,8	4,6	4,7
Calidad Estructural (10%)	4,8	4,7	4,8
Estilo y Presentación (10%)	4,8	4,6	4,7
Sustentación del trabajo (30%)	4,8	4,8	4,8
Definitiva	4,8	4,7	4,7


Hernán Jair Andrade Castañeda
Coordinador del Comité de Investigaciones

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios principalmente por darme la vida, la salud, la sabiduría y la energía para cada día de esta labor académica y formativa que sin sus guanzas en este caminar no hubiera sido posible, gracias por ser mi esperanza, mi consejero y siempre apoyarme y ponerme en los lugares correctos.

A mis padres Aurora y Jaime por su perseverancia durante tantos años para lograr formar una persona llena de valores y buenos principios con amor a la academia, siempre queriendo lo mejor para mi futuro, gracias por apoyarme en las buenas y malas decisiones. Todos sus esfuerzos están recompensados en este trabajo y título que son más de ustedes que míos. A mi hermano Santiago el cansón, por siempre preocuparse de mi asistencia a clase y al trabajo, y siempre recordarle a mis papás con sus palabras que necesitaba concentrarme para ser una gran científica y el un gran futbolista.

A mis abuelos José y Cenada aunque ya no están con nosotros, sé que hubieran estado muy orgullosos que fuera de esas personas luchadoras y trabajadoras por alcanzar sueños.

To Whittier, because since I knew you, you have been my mental and emotional support, also for his company and patience in Colombia during my thesis time, in order to be in my side and build together a better relationship each day. Your positive energy always makes me know everything I can achieve.

En general a todas aquellas personas que hacen parte de mi vida y me llenan de felicidad, compartiendo días, espacios y experiencia, que me han hecho crecer como persona.

AGRADECIMIENTOS

Es de gran importancia para mí brindar mis agradecimientos a todas las personas que he conocido durante esta etapa formativa, ya que de cada una he aprendido un poco. A Dios por darme esta oportunidad de vivir, sentir y gozar cada momento de mi etapa universitaria, a mi familia en general tías, primos, abuelos que siempre estuvieron pendientes de mí y me apoyaron en cada momento posible.

A mis amigos y compañeros de la universidad Alex, Diego, Verónica, Pedro, Mapis, Mauricio, Oscar, Raúl, Harold, Javier, Kevin, Memo, Camilo, y muchos más que posiblemente se me olvidan en el momento, por sus buenas enseñanzas, por su tiempo compartido, los trabajos, las traspasadas, las risas, los chistes, las farras, el café en el duquera, los laboratorios de cerveza artesanal y más que hicieron que esa etapa fuera un tiempo bastante agradable.

A mis amigos de la vida Raúl, Julio, Polet y amigos del Jordán que indiscutiblemente la vida nos ha mantenido unidos al paso del tiempo, a pesar de buenos y malos momentos, siempre tratando de aconsejarnos, guiarnos, apoyarnos y vivir de la mejor manera cada día, siempre coleccionando cada recuerdo como algo único.

A mis directoras de tesis las Doctoras Angélica y Ivonne por su paciencia, dedicación y guía en este trabajo, siempre depositando su confianza en mí y apoyándose en cada obstáculo administrativo y experimental que se presentaba. Me llevo con gusto lo aprendido de las dos y debo decir que son maravillosas mujeres y profesionales por su gran experiencia.

A la Universidad del Tolima, el programa de Ingeniería Agroindustrial y sus docentes por cada conocimiento compartido para tener una gran formación académica, por su paciencia, y algunos por ser comprensibles.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria "CORPOICA", en especial al centro de investigaciones Nataima por su orientación, colaboración y apoyo en mis labores.

A mis amigos de trabajo Paola, Kelly y Jorge, por su apoyo físico y mental en mis atareados momentos. Gracias por hacer mi paso por Corpoica agradable, de mucho aprendizaje, y de buenos momentos.

A mis compañeros de oficina Francia Luisa y Jhon Freddy por sus charlas, compañía y dulces de viaje que ayudaban a evitar el sueño después de almuerzo.

A todos los profesionales de apoyo del centro de investigaciones de Nataima, que siempre me aportaron y colaboraron con cualquier cosa desde que fuera posible, regalándome su tiempo, recursos y experiencia para llevar a cabo este trabajo de la mejor manera.

A los Doctores María Cristina, Luis Ramírez, María Denis y la M.Sc. Jennifer por su colaboración durante este tiempo de tesista en CORPOICA y sus conocimientos.

Al grupo de panelistas del centro de investigación Nataima por su colaboración en la catación de las muestras.

Gracias totales!

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la caracterización de cinco clones de cacao provenientes del departamento del Huila, utilizando 42 descriptores morfológicos y fisicoquímicos. Posteriormente estos cinco clones de cacao se fermentaron a nivel de laboratorio (microfermentaciones) en tarrinas plásticas, empleando temperaturas controladas durante un periodo de seis días de fermentación y seis días de secado.

A partir de la primera fase de microfermentaciones se determinó nueve mezclas de diferentes clones, las cuales fueron evaluadas a nivel de laboratorio durante siete días. Posteriormente se realizó la fermentación a escala piloto de una mezcla compuesta por los clones ICS 01, ICS 39 y CCN 51, en tres diferentes tipos de fermentadores: i) cajón inclinado en policarbonato, ii) escalera en madera, iii) tanque rotatorio en acero inoxidable, durante 8 días de fermentación.

Se realizó un seguimiento a todas las fermentaciones de las condiciones del proceso de beneficio mediante registro de la temperatura, el pH, °Brix, acidez total, polifenoles totales y índice de fermentación en el cotiledón, además de las pruebas físicas de corte, al final del proceso.

Se hizo evaluación sensorial de la masa fluida de cacao con el fin de evaluar atributos característicos como cacao, acidez, amargor y astringencia, que determinaron un perfil sensorial para cada material.

A nivel piloto se presentó que los fermentadores tipo escalera en madera y cajón inclinado en policarbonato tuvieron el mejor resultado en la fermentación realizada, ya que ambos alcanzaron temperaturas deseadas y desarrollaron características físicas según la NTC 1252 de un cacao tipo premio.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L., microfermentación, macrofermentación, Calidad, prueba de corte, polifenoles, perfil sensorial

ABSTRACT

In the present work the characterization of five cocoa clones from the department of Huila was carried out, using 42 morphological and physio-chemical descriptors. Later, these five cocoa clones were fermented at laboratory level (micro-fermentation) in plastic vats, using controlled temperatures during a period of six days of fermentation and six days of drying.

From the first micro-fermentation phase, nine mixtures of different clones were determined, which were evaluated at the laboratory level for seven days. Subsequently, the fermentation on a pilot scale of a mixture composed of clones ICS 01, ICS39 and CCN51 were carried out in three different types of fermenters: i) Tilted in polycarbonate, ii) Staircase in wood, iii) Rotatory tank in stainless steel, during 8 days of fermentation.

In addition to the physical cutting tests at the end of process, all fermentation processes were monitored by recording the temperature, pH, ° Brix, total acidity, total polyphenols and fermentation index in the cotyledon. Sensory evaluation of the cocoa fluid mass was made in order to evaluate characteristic attributes such as cocoa acidity, bitterness and astringency, which was used to determine a sensorial profile for each material.

At the pilot level it was presented that fermenter the staircase in wood and drawer inclined in polycarbonate, were the fermenters had performed the best fermentation result, as both reached desired temperatures and developed physical characteristics according to NTC 1252 of a premium type cocoa.

Key words: *Theobroma cacao* L., microfermentation, macrofermentation, quality, cut test, polyphenols, sensorial profile.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	19
1 JUSTIFICACIÓN	21
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
3 OBJETIVOS	25
3.1 OBJETIVOS GENERALES.....	25
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
4 MARCO DE REFERENCIA	26
4.1 MARCO TEÓRICO	26
4.1.1 Origen y Características.	26
4.1.2 Materiales genéticos del cacao.	27
4.1.3 Producción y comercialización de cacao.	28
4.1.4 Beneficio del cacao.	30
4.1.5 Fermentación.....	31
4.1.6 Tipos de fermentación.	33
4.1.7 Secado.	35
4.1.8 Determinación de calidad.	36
4.1.9 Calidad física.	36
4.1.10 Calidad organoléptica.	37
5 MATERIALES Y MÉTODOS	39
5.1 EVALUACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL	39
5.1.1 Localización.....	39
5.1.2 Material vegetal.	39

5.2	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MORFOLÓGICAMENTE DE CINCO CLONES DE CACAO DISPONIBLES EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA.	40
5.3	EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PROCESO DE MICROFERMENTACIÓN DEI CACAO (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	42
5.3.1	Prueba de corte diaria.	44
5.3.2	Pruebas Químicas.	44
5.4	EVALUACIÓN DE FERMENTADORES A ESCALA PILOTO EN LA CALIDAD FINAL DE UNA MEZCLA DE CLONES DE CACAO (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	45
5.4.1	Secado.	47
5.4.2	Prueba de corte.	48
5.4.3	Tostado.....	50
5.4.4	Obtención de masa fluida de cacao.	50
5.4.5	Evaluación sensorial.....	50
5.5	Análisis estadístico.	51
6	RESULTADOS Y DISCUSION.....	52
6.1	EVALUACIÓN MORFOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA DE CINCO CLONES DE CACAO DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA.	52
6.1.1	Caracterización morfológica.	52
6.2	EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PROCESO DE MICROFERMENTACIÓN DE CINCO CLONES DE CACAO (<i>Theobroma cacao L.</i>)....	57
6.2.1	Prueba de corte diaria.	57
6.2.2	Registro del pH.....	58
6.2.3	Registro de °Brix.....	60
6.2.4	Registro de la acidez total.	61
6.2.5	Registro de polifenoles totales.....	63
6.2.6	Registro de índice de fermentación.	64
6.2.7	Registro prueba de corte final.....	65
6.2.8	Análisis Sensorial.	67
6.3	EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PROCESO DE MICROFERMENTACIÓN DE NUEVE MEZCLAS DE CACAO (<i>Theobroma cacao L.</i>). 70	70

6.3.1	Registro mezcla 1.....	70
6.3.2	Registro mezcla 2.....	71
6.3.3	Registro mezcla 3.....	73
6.3.4	Registro mezcla 4.....	75
6.3.5	Registro mezcla 5.....	76
6.3.6	Registro mezcla 6.....	77
6.3.7	Registro mezcla 7.....	79
6.3.8	Registro mezcla 8.....	80
6.3.9	Registro mezcla 9.....	81
6.3.10	Registro de prueba de corte final.....	83
6.3.11	Análisis sensorial.....	83
6.4	EVALUACIÓN DE FERMENTADORES A ESCALA PILOTO EN LA CALIDAD FINAL DE UNA MEZCLA DE CLONES DE CACAO (<i>Theobroma cacao L.</i>).....	86
6.4.1	Registro de temperatura en etapa de fermentación.	86
6.4.2	Registro de prueba de corte diaria.	87
6.4.3	Registro de pH.....	89
6.4.4	Registro de °Brix.....	90
6.4.5	Registro de acidez total.	91
6.4.6	Registro de polifenoles totales.....	92
6.4.7	Registro de índice de fermentación.	93
6.4.8	Registro prueba de corte final.....	94
6.4.9	Análisis sensorial.....	95
7	CONCLUSIONES.....	98
	RECOMENDACIONES.....	100
	BIBLIOGRAFÍA	101
	ANEXO	108

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación esquemática del Cacao.	27
Figura 2. Distribución mundial del cultivo de cacao. (Theobroma cacao L.).....	29
Figura 3. Mazorca de Cacao (Theobroma cacao L.), extracción de semillas.	31
Figura 4. Partes de la semilla de cacao (Theobroma cacao L).	32
Figura 5. Ubicación geográfica de recolección de frutos de cacao (Theobroma cacao L.).	40
Figura 6. Método de Microfermentación.	44
Figura 7. Tipos de fermentadores a escala piloto.....	47
Figura 8. Método de secado - Marquesina.	48
Figura 9. Granos de cacao en guillotina para prueba de corte.	49
Figura 10. Caracterización cualitativa de cinco clones de cacao del departamento del Huila (Theobroma cacao L.).....	52
Figura 11. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.....	57
Figura 12. Evolución del pH del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.....	60
Figura 13. Evolución del °Brix del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.....	61
Figura 14. Evolución de acidez del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.....	62
Figura 15. Evolución de polifenoles totales del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.....	63
Figura 16. Evolución del índice de fermentación del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.....	65
Figura 17. Evolución de la prueba de corte final del cotiledón de cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.....	66
Figura 18. Perfil sensorial del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.	68

Figura 19. Figura 12. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.	70
Figura 20. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 1 en el proceso de fermentación.	71
Figura 21. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.	72
Figura 22. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 2 en el proceso de fermentación.	73
Figura 23. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.	73
Figura 24. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 3 en el proceso de fermentación.	74
Figura 25. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.	75
Figura 26. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 4 en el proceso de fermentación.	76
Figura 27. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.	76
Figura 28. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 5 en el proceso de fermentación.	77
Figura 29. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.	78
Figura 30. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 6 en el proceso de fermentación.	78
Figura 31. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.	79
Figura 32. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 7 en el proceso de fermentación.	80
Figura 33. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas	80

Figura 34. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 8 en el proceso de fermentación.	81
Figura 35. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.	82
Figura 36. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 9 en el proceso de fermentación.	82
Figura 37. Evolución de la prueba de corte final del cotiledón de cacao fermentado en tarrinas plásticas para nueve clones.	83
Figura 38. Perfil sensorial del cacao fermentado en tarrinas plásticas para nueve mezclas de cacao. (Theobroma cacao L.).	84
Figura 39. Registro de temperatura de macrofermentaciones.	86
Figura 40. Prueba de corte diaria en fresco de macrofermentaciones.....	88
Figura 41. Evolución del pH del cotiledón de cacao fermentado en macrofermentadores.	89
Figura 42. Evolución de los °Brix del cotiledón de cacao fermentado en macrofermentadores.	90
Figura 43. Evolución del % de acidez total del cotiledón de cacao fermentado en macrofermentadores.	91
Figura 44. Evolución de polifenoles totales del cotiledón del cacao de una mezcla en macrofermentación.....	92
Figura 45. Evolución del índice de fermentación del cotiledón de cacao fermentado en macrofermentadores.	94
Figura 46. Evolución de la prueba de corte final del cotiledón del cacao fermentado en macrofermentación.....	95
Figura 47. Perfil sensorial del cacao fermentado en macrofermentaciones para una mezcla de cacao. (Theobroma cacao L.).	96

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Requisitos del grano de cacao NTC 1252.	37
Tabla 2. Nomenclatura de cinco clones de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>).	39
Tabla 3. Descriptores morfológicos en la caracterización de 5 clones de cacao del departamento del Huila.	41
Tabla 4. Diseño experimental Microfermentaciones.	42
Tabla 5. Escala de Índice de fermentación.	45
Tabla 6. Diseño experimental Macrofermentaciones.	46
Tabla 7. Clasificación de almendras secas de cacao según el grado de fermentación.	49
Tabla 8. Escala de clasificación sensorial.	51
Tabla 9. Resultados físicos y químicos de 5 clones de cacao (<i>Theobroma cacao L.</i>)...	55

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Parámetros para la caracterización morfológica del fruto de cacao (<i>Theobroma Cacao</i> L).....	1099
Anexo B. Registro de características morfológicas a cinco clones de cacao.	1177
Anexo C. Registro de pH de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones individuales.	1199
Anexo D. Registro de °Brix de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones individuales.	1209
Anexo E. Registro de Acidez titulable de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones individuales.	12120
Anexo F. Registro de índice de fermentación de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones individuales.	1221
Anexo G. Registro de prueba de corte para cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones individuales.	1231
Anexo H. Registro de polifenoles totales de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones individuales.	1242
Anexo I. Registro de perfil sensorial de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones individuales.	1252
Anexo J. Registro del seguimiento bromatológico en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones mezclas.	1266
Anexo K. Registro de pruebas químicas para cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones mezclas.	1327
Anexo L. Registro de prueba de corte para cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones mezclas.	1359
Anexo M. Registro de perfil sensorial de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones Mezclas.	13630
Anexo N. Registro de pH de cacao fermentado en los fermentadores tipo: Escalera, Inclinado y Tanque.	¡Error! Marcador no definido.

Anexo O. Registro de °Brix de cacao fermentado en los fermentadores tipo: Escalera, Inclinado y Tanque.....	138
Anexo P. Registro % de Acidez total de cacao fermentado en los fermentadores tipo: Escalera, Inclinado y Tanque..	141
Anexo Q. Registro de índice de fermentación para cacao fermentado en los fermentadores tipo: Escalera, Inclinado y Tanque..	143
Anexo R. Registro de polifenoles totales de cacao fermentado en los fermentadores tipo: Escalera, Inclinado y Tanque..	1444
Anexo S. Registro de prueba de corte de cacao fermentado en los fermentadores tipo: Escalera, Inclinado y Tanque.	145
Anexo T. Registro de Temperatura del cacao durante fermentación en los fermentadores tipo: Escalera, Inclinado, Tanque y Tarrinas plásticas.	146
Anexo U. Registro de perfil sensorial de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Macrofermentaciones.....	147

ABREVIATURAS

- ✓ Peso del fruto (PES_FRU).
- ✓ Longitud del fruto (LONG_FRU).
- ✓ Longitud de la semilla (LONG_SEM).
- ✓ Diámetro del fruto (DIA_FRU).
- ✓ Diámetro de la semilla (DIA_SEM).
- ✓ Relación Long (mm) / diámetro fruto (L/D_FRU).
- ✓ Relación Long (mm) / diámetro semilla (L/D_SEM).
- ✓ Peso cáscara (PES_CAS).
- ✓ Peso semilla (PES_SEM).
- ✓ Grosor cáscara (GRO_CAS).
- ✓ Color de la cáscara en fruto maduro (COL_FRUT).
- ✓ Color de la semilla en fruto maduro (COL_SEM).
- ✓ Peso pulpa (PES_PUL).
- ✓ Número de Semillas por Fruto (NUM_SEM).
- ✓ Porcentaje Humedad de Semillas por Fruto (HUM_SEM).
- ✓ Porcentaje Humedad de pulpa (HUM_PUL).
- ✓ Porcentaje de Humedad cáscara (HUM_CAS).
- ✓ Porcentaje de ceniza de la cáscara (CEN_CAS).
- ✓ Porcentaje de ceniza en pulpa (CEN_PUL).
- ✓ Porcentaje de ceniza de la semilla (CEN_SEM).
- ✓ Índice de Grano (IND_GRAN).
- ✓ Grosor de la semilla (GRO_SEM).
- ✓ Peso pulpa (PES_PULP).
- ✓ Porcentaje de pulpa (%_PUL).
- ✓ Porcentaje de semilla (%_SEM).
- ✓ Porcentaje de cáscara (%_CAS).
- ✓ Corte transversal de la semilla (CTRA_SEM).
- ✓ Ápice del fruto (API_FRU).
- ✓ Forma del fruto (FOR_FRU).

- ✓ Forma de la semilla (FOR_SEM).
- ✓ Rugosidad del fruto (RUG_FRU).
- ✓ Constricción basal (CONS_FRU).
- ✓ Proteína de la semilla (PRO_SEM).
- ✓ Teobromina de la semilla (TEO_SEM).
- ✓ Cafeína de la semilla (CAF_SEM).
- ✓ pH de la semilla (pH_SEM).
- ✓ pH de la pulpa (pH_PUL).
- ✓ °Brix de la semilla (BRI_SEM).
- ✓ °Brix de la pulpa (BRI_PUL).
- ✓ Acidez total de la semilla (ACI_SEM).
- ✓ Acidez total de la pulpa (ACI_PUL).
- ✓ Índice de fermentación (IF).
- ✓ Coeficiente de variación (CV).

INTRODUCCIÓN

El comercio mundial de productos primarios, como el cacao en grano, es de gran importancia dado que la producción y comercialización de estos bienes constituyen la base de la economía nacional de los países subdesarrollados (Quintero & Díaz, 2004). El clima propicio para el desarrollo del cacao en Colombia coincide con las características del piso térmico cálido, que comprende la franja de tierras ubicadas desde el nivel del mar hasta 1.200 m.s.n.m., en Colombia se pueden contabilizar 173.000 Ha de este cultivo, que para el año 2016 alcanzaron a producir 330 kg de cacao seco por hectárea, donde priman los cacaos de aroma denominados Trinitarios (Fedecacao, 2017; Ministerio de Industria y Comercio, 2009).

En Colombia se ha venido desarrollando un enfoque hacia el cultivo de cacao, donde se planea aumentar la producción a gran escala a largo plazo, abarcando diferentes departamentos del país, incluyendo mejoras en los métodos de producción y variedades productivas (Fedecacao, 2013).

La Corporación de Investigación Agropecuaria "CORPOICA", ha venido desarrollando investigación y tecnificación de la producción agrícola y pecuaria, con el fin de generar más garantías para los productores, teniendo en cuenta diferentes componentes como manejo, producción y procesamiento. Como se evidencia en este trabajo investigativo que es parte del macroproyecto "Estrategias tecnológicas para fortalecer la cacaocultura Colombiana".

En el presente trabajo se caracterizaron cinco clones pertenecientes a la red Fedecacao-Corpoica, seleccionada por su eficiencia productiva, sembrados en el departamento del Huila, municipios de Rivera y Algeciras, determinando características físicas, químicas y sensoriales.

Además se realizó la fermentación a nivel de laboratorio de los clones seleccionados, que en base a su comportamiento se definieron mezclas de clones para fermentar, práctica que realizan los productores en campo, pues en sus fincas cuentan con diferentes clones sembrados sin que se haya estudiado el efecto en la calidad final del cacao.

Así mismo se presentan los resultados de una fermentación a escala piloto de una mezcla de tres clones, donde se evaluaron tres tipos de fermentadores: i) cajón inclinado en policarbonato, ii) escalera en madera, ii) tanque rotatorio en acero inoxidable, durante 8 días de fermentación con un seguimiento de pruebas físicas y químicas.

1 JUSTIFICACIÓN

La producción de cacao a nivel mundial es mayor a cuatro millones de toneladas donde América cuenta con 14.8% de la producción y Colombia con 8.5%, parte de este porcentaje se destina para exportación, que ha venido creciendo desde el año 2015 cuando se exportaron más de 13.000 t de cacao en grano, donde Estados Unidos fue uno de los países objetivos (Fedecacao, 2017; United Cacao, 2015). Para el Departamento del Huila la producción en el año 2016 fue del 7% respecto a la nacional (Fedecacao, 2017). A pesar de los buenos resultados en producción se tiene que la tasa de pérdida en el rendimiento entre el área de siembra y de producción es de casi del 13% (FAO, 2004), lo cual puede deberse a la incidencia de enfermedades que atacan los cultivos de cacao, sumado a la baja producción del cultivo, falta de estímulos del agricultor para la actividad cacaotera y las falencias en la etapa de beneficio. Para esta última las pérdidas se centran en la fermentación, generando mala calidad del grano debido a que no se cumplen los parámetros requeridos de tiempo y temperatura según la variedad de cacao, el clima, la cantidad de granos y la tecnología local disponible.

Colombia es uno de los pocos países en el mundo que cuenta con una cadena integrada de cacao-chocolate, donde el proceso de beneficio de los granos juega un papel importante, ya que el transformador castiga la mala calidad, desvalorizando su precio al momento de compra (Chocolate, Biscuits & Confectionery of Europe, European Cocoa Association & Federation of cocoa commerce, 2015). Si el precio del cacao en compra es bajo, el agricultor se verá afectado económicamente, lo que influye directamente en su bienestar y calidad de vida. La dinámica que experimenta la cacaocultura está obligada a desarrollar tecnologías para la mejora en la competitividad de la cadena cacaotera, en base al desarrollo de estrategias de manejo y soporte en las prácticas de los diferentes procesos de transformación del grano. Actualmente, cada agricultor maneja un beneficio según la tradición que se ha dado en la zona, con prácticas artesanales, para la obtención del cacao fermentado seco con diferentes calidades y rendimientos en la producción (Pedroza, 2012).

En el presente estudio, se busca evaluar algunas de las variables que afectan los procesos de beneficio como clon de cacao, mezclas de cacao y tipo de fermentador, con el fin de mejorar la calidad del grano final obtenido.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, la demanda mundial de cacao se ha incrementado debido a su alto poder energético y gran variedad de usos en la industria (Valenzuela, 2007). El cacao como materia prima requiere de una serie de factores para llegar a altos estándares de calidad, estos influyen en el precio que pueda obtener el mismo al momento de comercializarlo. Sin embargo, muchos de los productores de cacao tienen bajos recursos económicos y limitada capacitación que les impide responder de manera adecuada a situaciones críticas, limitando su desarrollo y con ello el de la región.

En Colombia y otros países se han adelantado estudios sobre la calidad final del grano, y el proceso adecuado para llegar a este. Uno de los temas es la evaluación de diferentes tipos de fermentadores como cajas de maderas, cestas, tarrinas, lonas, piñas, montones y su influencia en la fermentación (Liendo, 2006; Botello, s.f; Rivera, Mecías, Guzmán, Mercedes, Medina, Casanova, Barrera & Nivelá, 2012). La calidad del grano final de cacao es dependiente de tecnologías de procesamiento y almacenamiento para prevención de defectos de calidad, debido a que estos procesos son favorables para el crecimiento de hongos micotoxinogénicos, y problemas por factores abióticos y bióticos (Medina *et al.*, 2013); las prácticas inadecuadas que no garantizan la espontaneidad de todos los cambios que ocurren en el proceso del cacao no permiten la presentación idónea al mercado de un producto de alta calidad.

Según los expertos, la calidad final de un grano fino de cacao depende de los siguientes factores: 50% genética, 20% post-cosecha o proceso de beneficio, es decir, fermentación y secado apropiados, 25% transformación (tostado y conchado) y 5% suelo y estación (Gutiérrez, 2013). En la post-cosecha la principal problemática se da en el proceso de fermentación por la falta de homogeneidad y malas prácticas, causando la presencia de sabores indeseables, además de bajo rendimiento en la calidad final del grano. Todo en secuencia con factores como la variedad del material vegetal, tipos de fermentadores, tiempo de fermentación, entre otros. Los cuales se pueden evitar mejorando factores que

inciden de forma negativa en la calidad del cacao como i.) La baja tecnificación y desarrollo de estándares para el beneficio del cacao y ii.) La deficiente normalización del control de calidad (Sánchez, Castellanos & Domínguez, 2008).

En este proyecto se evaluarán diferentes sistemas de fermentación para cinco clones de cacao cultivados en el departamento del Huila, realizándose microfermentaciones por cada clon en forma individual y en mezcla definiendo compatibilidad por variables, posteriormente se escalará el proceso a nivel piloto utilizando diferentes tipos de fermentadores, para estandarizar el proceso y poder generar recomendaciones en el proceso de post-cosecha que garanticen la continuidad de la investigación en pro a ayudar a mejorar la calidad del grano de cacao y su rentabilidad.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GENERALES

Evaluar el proceso de beneficio en diferentes tipos de fermentadores sobre la calidad final de una mezcla de clones de cacao procedentes del departamento del Huila.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar fisicoquímica y morfológicamente cinco clones de cacao.
- ✓ Realizar microfermentaciones de clones de cacao en forma individual y en mezcla con seguimiento de parámetros físico químicos.
- ✓ Evaluar la influencia del tipo de fermentador a escala piloto en la calidad final del grano de cacao fermentado.

4 MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1 Origen y Características. Según investigaciones arqueológicas se ha registrado que el cacao es parte de los alimentos de consumo para la sociedad desde hace 600 años A.C, iniciando en las civilizaciones mesoamericanas. Esta especie es originaria del Bosque húmedo tropical en América del sur, en países como Brasil que se caracteriza por tener la mayor variedad de esta especie. El cacao se desarrolla entre los 18° de latitud norte y 20°sur del Ecuador, distribuidos en América Latina, Oeste de África y Sudeste de Asia. (IICA, 2006; López, 2016). Su expansión se generó debido a la conquista de los españoles donde se dio el encuentro y conocimiento de este fruto en Europa y el resto del mundo. En Colombia se encuentra el cacao desde los 0 a 1200 m.s.n.m, este suele adaptarse a condiciones de cuatro zonas agroecológicas de la geografía nacional: i)Valles Interandinos Secos (Huila, sur del Tolima y norte del Magdalena), ii) Bosque Húmedo Tropical (Urabá, Tumaco, Catatumbo, Arauca, Meta y Magdalena Medio), iii) Zona Cafetera Baja (Gran Caldas, suroeste de Antioquia y norte del Tolima) y, iv) Montaña Santandereana (Santander y Norte de Santander) (Aránzazu, Martínez, Rincón, & Palencia, 2009; MADR, 2005; Mojica & Paredes, 2006).

El árbol de cacao es de un tamaño entre 4 a 8 metros de altura dependiendo de las temperaturas de la zona, donde se buscan que sean entre los 21 y 32° C. Un solo árbol puede tener entre 30 a 40 semillas de color rojizo las cuales florecen en las partes viejas o troncos maduros. En general el cacao tiene una alta polinización por medio de insectos la cual influye tanto en la calidad como en la cantidad de la cosecha. (Johnson, Bonilla & Agüero, 2008; Hardy, 1961; Quintero & Díaz, 2004; FAO, s.f).

El fruto de cacao se genera a partir del tercer al quinto año de siembra, alcanzando rendimientos óptimos al octavo o décimo año. El fruto se da a partir de la maduración del ovario una vez fecundado y puede constar de un número variable de semillas que

usualmente como mínimo es del 25%. Estas semillas se constituyen de un embrión formado por dos grandes cotiledones compuesto de estimulantes como la teobromina, cafeína y sustancias de gran valor que permiten la transformación de la semilla a grano de cacao (Hardy, 1961; Quintero & Díaz, 2004).

4.1.2 Materiales genéticos del cacao. El cacao se clasifica en tres grupos genéticos: Criollos, Forasteros y Trinitarios, con una clasificación esquemática en su diversidad citada por cheesman y Wood (1982) que sugieren:

Figura 1. Clasificación esquemática del Cacao.



Fuente: Autor, adaptado de (Martínez, 2007)

Del *Theobroma cacao* L. se han descrito dos subespecies, T. Cacao Ssp. Cacao conocido como cacao criollo que se caracteriza por sus árboles delgados con hojas pequeñas, mazorcas cilíndricas, surcos profundos, y exterior de forma rugosa. Mazorca con cambio de tonalidades desde verde hasta rojo, con un interior conformado en promedio por 20 a 30 semillas de color blanco de forma cilíndrica u ovalada con alto contenido de grasa, baja astringencia y bastante aroma. Entre los criollos conocidos se encuentre el Cacao Real, Cacao Porcelana y Cacao Pentágona. El cacao criollo se distribuye geográficamente en América Central, Colombia y Venezuela. (IICA *et al.*, 2006; Martínez, 2007; Johnson *et al.*, 2008; Dostert, Roque, Cano, La torre & Weigend, 2012; Fedecacao, 2013; Ogota, 2007).

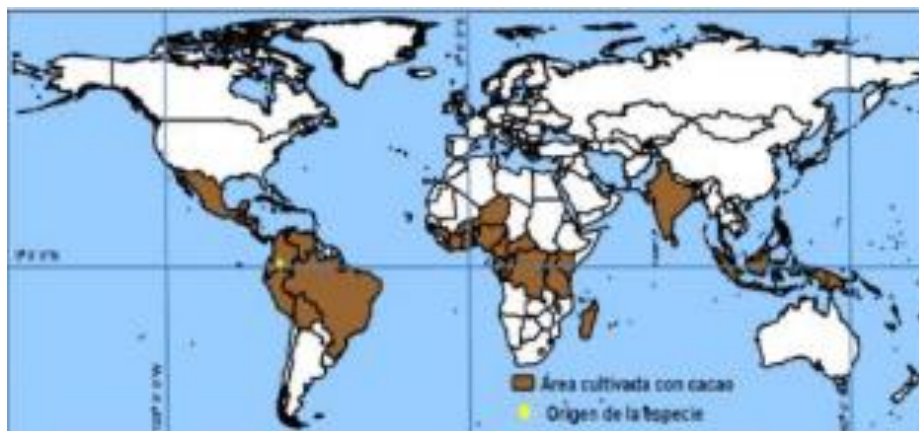
Por otra parte se tiene la subespecie T. Cacao ssp. *Sphaerocarpum* también conocido como Forastero o cacao Amazónico, se caracteriza por su árbol vigoroso, con gran follaje y más tolerancia a las enfermedades. Las mazorcas tienden a tener un color verde, parte

externa gruesa, cáscara lisa y a veces con sello botella en la base. Esta especie contiene aproximadamente 30 semillas redondas de color morado, pequeñas, aplanadas, con bajo contenido de grasa y alta astringencia. Esta subespecie es de las más cosechadas en África y Brasil, y ocupa casi el 80% de la producción de estos. También se puede encontrar de forma silvestre en Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia (IICA *et al.*, 2006; Martínez, 2007; Johnson *et al.*, 2008; Dostert *et al.* 2012; Fedecacao, 2013; Ogota, 2007; Rojas & Sacristán, 2013).

Estas dos subespecies han sido complementadas mediante un cruzamiento artificial para generar un tercer tipo de cacao híbrido llamado Trinitario, el cual no es posible delimitarlo a través de características comunes, solo algunas químicas como la relación teobromina/cafeína que para estos ocupa un rango de 5-10 (Pineda, Chica, Echeverry, Ortiz, Olarte, & Ria, 2012). El árbol es comúnmente robusto con mazorcas verdes o pigmentadas y con semillas violeta. Este se cultiva en países como México, Trinidad, Colombia, Venezuela, Oeste de África y Sur Oeste de Asia. Este cacao híbrido es de gran demanda por su alto grado de sabor a chocolate. (Johnson *et al.*, 2008; Martínez, 2007; Dostert *et al.* 2012).

4.1.3 Producción y comercialización de cacao. La demanda de cacao a nivel mundial es impulsada por el mercado de productos de confitería de chocolate y uso de manteca de cacao (United cacao, 2015), haciendo que a nivel mundial se genere este cultivo en varios países como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Distribución mundial del cultivo de cacao. (*Theobroma cacao* L.).



Fuente: (Aránzazu Hernández *et al.*, 2009).

Según la ICCO (International Cocoa Organization) pronostica que el continente Africano es uno de los mayores productores de cacao con un poco más del 75% de la producción mundial para el año 2016-2017, con casi tres mil millones de toneladas. El continente americano se encuentra en segundo lugar con 16% de la producción mundial con casi 767 millones de toneladas. En América los países con mayor producción son Ecuador con un 35%, seguido por Brasil con un 24%, y Colombia con el 8.5% (ICCO, 2017; Fedecacao, 2017). En Colombia desde el año 2011 se ha venido dando un crecimiento en la producción de cacao pasando de producir 37.202 t a 56.785 t para el año 2016, en ese año Colombia exportó 10.550 t de grano de cacao. La producción en Colombia está distribuida en seis departamentos del país que son Santander, Arauca, Antioquia, Huila, Tolima y Cundinamarca. Durante el año 2016, el departamento con mayor producción de cacao fue Santander con 22.117 t, seguido del departamento de Arauca con más de 6.000 t. El Huila con 7.551 Ha, se encuentra como el cuarto departamento productor de cacao con 4.159 t para el mismo año (Fedecacao, 2017; Gobernación del Huila, 2015). A nivel del Huila el mayor productor para el año 2015 fue el municipio de Rivera con 512 toneladas, seguido por el municipio de Algeciras con 279 toneladas y Campo alegre con 265 toneladas.

Los precios a nivel nacional del cacao han ido aumentando desde el año 2013 de \$4.133 COP por kilogramo hasta el año 2016 con un precio de \$8.068 COP por kilogramo,

aunque se pronostica que para el año 2017 se dará una caída del precio hasta casi \$6.000 COP (Fedecacao, 2017).

4.1.4 Beneficio del cacao. Para obtener un grano de cacao final de alta calidad se necesita establecer diferentes factores claves en el proceso denominado beneficio, que consiste en la preparación de las almendras para diferentes etapas que permitirán desarrollar características físicas como sabor y aroma. El beneficio comprende: cosecha, extracción de la semilla, fermentación, secado, clasificación y almacenamiento (Reyes, Vivas & Romero, s.f).

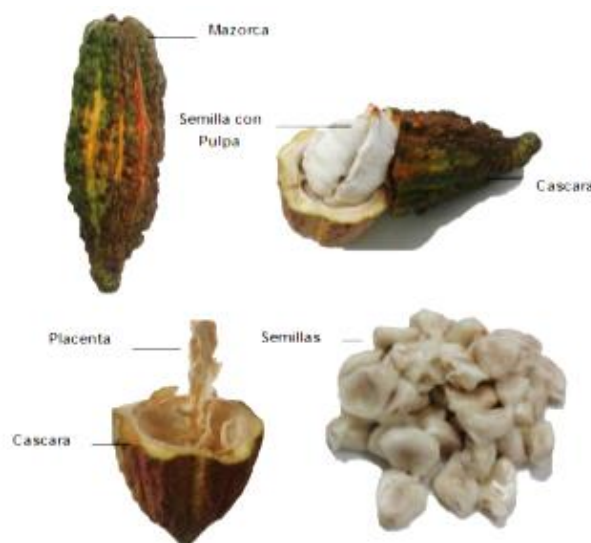
4.1.4.1 Cosecha. Un factor importante en la fase de inicio de todo el proceso post-cosecha es la cosecha del fruto y se caracteriza porque se genera un cambio físico (color rojo, naranja o amarillo en las paredes de la vaina externa), que permite determinar a los cultivadores que la mazorca está lista para su recolección y la extracción de semillas (Medina, Vargas & Ángel, 2013).

Es importante evitar varias cosas durante la cosecha las cuales son: tomar mazorcas sobre-maduradas, mazorcas heridas, enfermas o con algún tipo de plaga, estos pueden reconocerse fácilmente ya que suelen tomar color chocolate en el exterior o hongo, que si llega al interior de la mazorca influirá en el grano, que al ser mezclado con granos sanos puede generar dispersión del hongo que contenga o provocar sabores indeseables causando el detrimento de calidad. Se recomienda que las mazorcas enfermas sean quemadas o enterradas fuera del cacaotal, reduciendo la fuente permanente de infección en el cultivo (Nieves, 1981; Reyes, Vivas & Romero, s.f).

4.1.4.2 Extracción de la semilla. Es una de las labores más dispendiosas ya que durante años se ha realizado de manera manual ya sea con machete o cuchillo, aunque se recomienda el uso de métodos de menos riesgo que son el uso de mazo o partido de T invertida (Nieves, 1981; Reyes, Vivas & Romero, s.f).

El desgranado de la mazorca se realiza igualmente de manera manual deslizando los dedos a lo largo de la placenta o vena central de la mazorca (Figura 3), con el fin de que solo el grano entre al fermentador a usar. Se recomienda que si se encuentran granos con algún defecto estos sean separados para no afectar la calidad final del grano (Rojas & Sacristán, 2013).

Figura 3. Mazorca de Cacao (*Theobroma cacao* L.), extracción de semillas.



Fuente: Autor

4.1.5 Fermentación. Es una de las etapas más importantes en el beneficio, ya que es determinante frente al tema de calidad final del producto. Esta etapa consiste en cambios bioquímicos al interior del grano que dan origen a reacciones químicas impulsoras del aroma y sabor característicos del cacao (Contreras et al., 2004). Portillo et al. (2009) describen que la fermentación se basa en dos fenómenos distintos totalmente dependientes que son, i) la fermentación microbiana que corresponde a la eliminación de mucílago presente en el grano y, ii) las reacciones bioquímicas con la acción de la temperatura, alcoholes, ácidos, pH y humedad para la formación de sustancias aromáticas.

Todos los sistemas de fermentación manejan una secuencia anaerobia y aerobia en una fase de días determinados donde la pulpa (Figura 4), comienza una descomposición del

azúcar sin oxígeno por medio de las levaduras, pasando a la producción de etanol y dióxido de carbono que desplazan el aire que se pueda encontrar en el fermentador, generando aumento de temperatura. Durante el transcurso de los días la semilla va perdiendo la pulpa y la concentración de azúcares permitiéndole absorber más aire para comenzar su oxidación, y disminuye la astringencia por la conversión de polifenoles solubles en polímeros insolubles. (Cubillos, Merizalde & Correa, 2008; Beckett, 2009).

Figura 4. Partes de la semilla de cacao (*Theobroma cacao* L.).



Fuente: Autor

El proceso continúa con ayuda de las bacteria *Acetobacter* que transforman el etanol en ácido acético el cual penetra la semilla dando muerte al embrión a temperaturas entre los 45-50°C, rompiendo las estructuras de almacenamiento produciendo la liberación de polifenoles, proteínas de reserva, disolución y difusión de los pigmento y alcaloides generando el sabor amargo y otros cambios químicos (Amores, 2009).

El proceso de fermentación ocurre entre 5 a 7 días, esto depende del material y condiciones que se mantenga en la fermentación, si su pH es elevado se considera que cuenta con un grado bajo de fermentación (Ávila, Campos, Guharay & Camacho, 2013; Maisincho, 2006; Beckett, 2009). Durante este tiempo se debe hacer una remoción para permitir la aireación en todo el lote, que se recomienda se inicie entre los días 2 o 3 (Vos, Ritchie & Flood, 2003), el resto de días se hará una constante remoción cada 24 horas del lote, con el fin de tener una rica oxigenación y mayor oxidación para una fermentación más homogénea. Se determina si el grano está fermentado cuando la masa tiene una

temperatura baja, y el grano presenta un hinchamiento con coloración externa rojiza, que es causada por la oxidación que da lugar a nuevos taninos muy grandes e insolubles, igualmente al apretar el grano entre los dedos sale liquido color vino o achocolatado con un olor a vinagre (Dubon, 2016; CAOISCO *et al.*, 2015). Después se realiza el proceso de secado para finalmente hacer una toma de granos al azar definiendo si están fermentados o insuficientemente fermentados de acuerdo a la normatividad NTC 1252 (ICONTEC, 2003).

4.1.6 Tipos de fermentación. La fermentación se realiza tradicionalmente en sacos de yute o costales de polietileno los cuales se dejan en el piso o para tener mejor aireación se suelen colgar, por lo que se presenta un porcentaje elevado de granos violáceos y pizarrosos (Portillo *et al.*, 2009). Otro sistema de fermentación es montones o rumas que consiste en poner en el piso una capa de hojas de plátano que sirven de base y facilitan el drenaje del lixiviado, luego se cubre con hojas de plátano y sacos de yute para mantener el calor. Estos montones deben estar expuestos al sol con remoción a las 48, 72 y 96 horas, sistema muy usado por los agricultores debido a la ventaja de fermentar cualquier volumen sin costo alguno (Paredes, 2003).

Otro sistema son las bandejas o cajones de madera, en el primero se recomienda que se tenga un desnivel para facilitar la salida del lixiviado, una vez las bandejas están llenas, se cortan piezas pequeñas de hojas de chagüite y se incorporan dentro de la masa o encima de esta para ayudar a la inoculación del cacao y conservar el calor. La remoción en este sistema se realiza cada 24 horas. El sistema de cajones de madera (laurel) usualmente se usa cuando se tienen bajos volúmenes para facilitar la manipulación del mismo, estos cuentan con orificios en el fondo para dar paso a la salida del lixiviado, usualmente se introducen rollitos de hojas de plátano o chagüite ya que las levaduras o polvillo blanco que presentan estas hojas, ayudan a la inoculación de la masa. Estos cajones son ubicados tipo escalera con el fin de pasar de un cajón a otro, facilitando la remoción del grano (Ávila, *et al.*, 2013; Morales, 2017).

A nivel de laboratorio se han desarrollado técnicas de fermentación con el fin de hacer un seguimiento más fácil de estas, mediante la microfermentación de una sola mazorca que consiste en el beneficio de muestras procedentes de un solo árbol, colocando los granos en un recipiente hermético, retirando el aire del recipiente, sellándolo y llevando a temperaturas controladas tanto en condición anaeróbica como aeróbica. Usualmente en este sistema se manejan cantidades menores a 1 kg (CAOBISCO *et al.*, 2015; Seguíne, Mills, Marelli, Motamayor & Da Silva Coelho ,2011).

Se han desarrollado diferentes investigaciones de la transformación postcosecha del cacao, con el fin de establecer la variabilidad en la fermentación, teniendo en cuenta la manipulación, procesamiento y tecnificación.

Anónimo (2009) en su trabajo sobre el procesamiento de cacao en Vietnam, estudió el comportamiento de la temperatura en el transcurso de siete días de fermentación en cantidades entre los 25 kg y 100 kg. En tres diferentes tipos de fermentadores (cestas, montones y cajones), observando que en pequeñas cantidades la masa de cacao solo alcanza temperaturas de los 45°C en fermentador de madera, temperatura necesaria para la muerte del embrión. Además determinó que la mejor cantidad de masa era de 50Kg que tuvo una temperatura de casi 50°C y un grano de cacao de buena calidad.

Según Contreras, Ortiz, Graziani, & Parra (2004) en su investigación evaluaron las características físicas de los granos de cacao en diferentes tipos de fermentadores (cajas de madera, cajas plásticas y saco de yute), determinando que estos no varían significativamente en la temperatura. Sin embargo las características fisicoquímicas de pulpa + testa y cotiledón obtenidas difirieron que el fermentador tipo caja de madera fue el más adecuado. Para el sistema en bandeja en posición inclinada se tiene que según Helfenberger (1964) este sistema no alcanza la temperatura de 45°C en casi 80 horas de fermentación, por ende recibiendo calificación baja a nivel de calidad del grano.

Debido a que se presenta una calidad no uniforme del grano de cacao, Cardona (2016) evaluó la comparación entre la remoción y los tipos de fermentadores (cajón de madera,

costal, cajón de madera tipo escalera y arrume). Donde se evidenció que el fermentador tipo costal muestra problemas en la aireación permitiendo mayor concentración de ácido láctico, a diferencia del fermentador de cajones de madera el cual presentó el índice de fermentación más idóneo, resaltando que la fermentación puede ser variable debido al material vegetal.

Sin embargo Álvarez, Tovar, García, Morillo, Sánchez, Girón, & De farías (2010) evaluaron dos de los mismos tipos de fermentadores con cacaos Trinitarios, en tres frecuencias de remoción (24, 48, 72 y 96 h). Consideraron que las características físicas no variaron significativamente a nivel de los fermentadores. Estos concluyeron que el mayor grado de fermentación se obtuvo para la remoción cada 24 horas, en los fermentadores tipo cajones de madera y cestas plásticas. Los autores hacen referencia a que el uso de las cestas plásticas, por su bajo costo, durabilidad, y operatividad pudiese ser considerado como una acertada recomendación para lograr un buen grado de fermentación.

En otra investigación Martínez (2016) evaluó las características fisicoquímicas, sensoriales, y rendimientos de 16 cultivares de cacao de los departamentos de Arauca, Huila y Santander. Demostrando que los componentes evaluados varían considerablemente entre genotipos y localidades.

Según Teneda (2016) la fermentación comparativa entre el clon CCN 51 y cacao Nacional de España, en diferentes tipos de fermentadores (tambor rotatorio de madera y cajones de madera), tienen un comportamiento aleatorio. Donde el fermentador rotatorio presenta la mejor fermentación debido a su calidad y rendimiento del grano fermentado, pues se disminuye riesgos de contaminación por su sistema casi hermético. Además se destaca que el cacao fermentado en cajones de madera presentó un mayor para el cacao Nacional.

4.1.7 Secado. El grano llega con una humedad $\leq 55\%$, mediante secado natural o artificial se lleva hasta el 7% de humedad de manera lenta, ya que si no es así se podría

tener granos duros, aplastados y arrugados. Durante este proceso el grano elimina sabores ácidos y desarrolla aromas. El secado natural suele realizarse en túneles, bandejas o plazoletas de secado en la dinámica de remover constantemente las bandejas tratando de aprovechar la mayor parte del sol, en la noche es tapado para evitar olores desagradables. Este proceso puede tardar entre 5 a 10 días dependiendo las condiciones de la zona. El secado artificial de cacao usualmente no llega al punto de materia seca que se espera y se recomienda que sea un proceso lento que dure mínimo 7 días (Ávila *et al.*, 2013), si el secado es violento a una temperatura mayor a 55°C se interrumpe la hidrólisis enzimática de las antocianinas generando almendras de color violeta que poseen un sabor amargo y astringente (Forsyth & Quesnel, 1963). Después del secado los granos se someten a una minuciosa selección y limpieza eliminando todos los materiales extraños mediante tamices, para finalmente ser empacados en costales de fique y almacenarse entre 2 a 3 meses, tratando de evitar pérdidas o daños en la calidad del producto (Cubillos *et al.*, 2008).

4.1.8 Determinación de calidad. En cuanto a calidad los mercados realizan la clasificación de los productos con el fin de determinar su valor, transformador y consumidor final, además de garantizar el control de características físicas, químicas, sensoriales y sanitarias para una trazabilidad idónea.

4.1.9 Calidad física. Tiene en cuenta la apariencia externa de los granos de cacao, como color, aroma y agrietamiento. Estas condiciones son determinadas según el país evaluador, donde para Colombia se rige la evaluación física mediante la NTC 1252 (ICONTEC, 2003), la cual emplea la prueba de corte de cacao seco para el mercado, clasificando los granos en bien fermentados, insuficientemente fermentados, pizarrosos, mohosos, pasilla, germinados y con dañados por insectos. Sin embargo esta prueba no constituye un indicador fiable de la calidad del sabor (CAOBISCO *et al.*, 2015). Esta normatividad contempla un muestreo mínimo de 100 g los cuales según su fermentación se pueden clasificar en premio, corriente y pasilla (Tabla 1).

Tabla 1. Requisitos del grano de cacao NTC 1252.

Requisitos	Premio	Corriente	Pasilla
Contenido de humedad en % (m/m). Máx.	7	7	7
Contenido de impurezas o materias extrañas en % (m/m).Máx.	0	0.3	0.5
Grano mohoso interno número de granos/100granos.Máx.	2	2	2
Grano dañado por insectos y/o germinados, número de granos/100granos.Máx.	1	2	2
Contenido de pasilla, número de granos/100granos.Máx.	1	2	-
Contenido de almendra en % (m/m) .min.	-	-	40-60
Masa (peso) en g/100 granos. Min	120	105-119	40
Granos bien fermentados, número de granos/100granos.min.	65	65	60
Grano insuficientemente fermentados, número de granos/100granos. Máx.	25	35	40
Granos pizarrosos, número de granos/100granos.max.	1	3	3

Fuente: Autor, adaptado de la Norma técnica colombiana 1252, (2003).

4.1.10 Calidad organoléptica. Esta se rige mediante la evaluación sensorial que permite medir la calidad de los alimentos, conocer la opinión y mirar la aceptación de los productos por parte de los consumidores. Según el Instituto de Alimentos de EEUU (IFT), define la evaluación sensorial como “la disciplina científica utilizada para evocar, medir analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (Hernández, 2005).

Para evaluar el cacao se toma en base una guía de sabores y aromas deseables, que permiten evaluar la masa de cacao, donde se analiza la concentración de sabores como

cacao o chocolate, acidez, astringencia, amargor y sabores adquiridos que se consideran indeseables, como el sabor a moho, químico o verde. Para la parte de aromas se suelen identificar aromas secundarios positivos tales como notas a frutales y florares (CAOBISCO *et al.*, 2015).

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 EVALUACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL

5.1.1 Localización. El proyecto se desarrolló en el Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria CORPOICA en el laboratorio de Ciencias Agroalimentarias centro de investigaciones Nataima en el Espinal- Tolima.

5.1.2 Material vegetal. Se emplearon 5 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) del departamento del Huila de la red Fedecacao y Corpoica, municipio de Rivera que se encuentra localizado geográficamente a 2°46'38" de latitud norte , 75°15'19" de latitud oeste y a una altitud de 700 msnm, y Algeciras que se encuentra a 2°31'19" de latitud norte, 75°18'52" de latitud oeste y a una altitud de 1528 msnm. En la Tabla 2 se encuentran los nombres y origen de los clones evaluados.

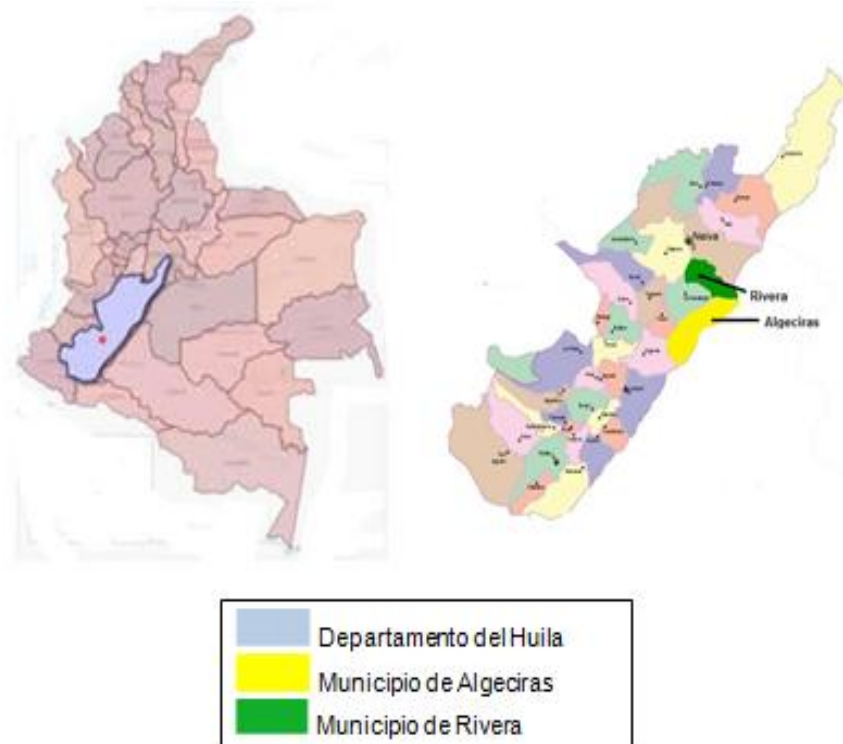
Tabla 2. Nomenclatura de cinco clones de cacao (*Theobroma cacao* L.).

NOMENCLATURA	NOMBRE	ORIGEN	TIPO GENÉTICO
ICS 01	Imperial College Selection	Trinidad	Híbrido Trinitario
ICS 95	Imperial College Selection	Trinidad	Híbrido Trinitario
ICS 39	Imperial College Selection	Trinidad	Híbrido Trinitario
TSH 565	Trinidad selection hybrid	Trinidad	SCA 6 x IMC 67
CCN 51	Colección Castro Naranjal	Ecuador	ICS 95x IMC 67 F1 x CANELO

Fuente: Autor

En la Figura 5 se observa el mapa de ubicación de donde fueron recolectados los clones de cacao.

Figura 5. Ubicación geográfica de recolección de frutos de cacao (*Theobroma cacao* L.).



Fuente: Autor, adaptado de Secretaría de Educación. & El Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Se recolectaron aproximadamente durante todo el proyecto 2000 frutos de cacao en estado de madurez óptimo. En la primera fase se seleccionaron 3 frutos fisiológicamente libres de daños, los cuales fueron desinfectados para posteriormente ser caracterizado morfológicamente.

5.2 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y MORFOLÓGICAMENTE DE CINCO CLONES DE CACAO DISPONIBLES EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA.

Se realizó una evaluación con base a 7 descriptores cualitativos y 34 descriptores cuantitativos en base a la siguiente normatividad y codificación (Tabla 3):

Tabla 3. Descriptores morfológicos en la caracterización de 5 clones de cacao del departamento del Huila.

Prueba/Material	Fruto	Cáscota- Cáscara	Pulpa	Semilla	Normatividad	Codificación
Forma	X			X	CATIE,2012	FOR
Forma de la constricción basal	X				CATIE,2012	CONS_FRU
Forma del ápice	X				CATIE,2012	API_FRU
Rugosidad	X				CATIE,2012	RUG_FRU
Peso	X	X	X	X		PES
Diámetro	X			X	CATIE,2012	DIA
Longitud	X			X	CATIE,2012	LONG
Relación longitud/diámetro	X			X	CATIE,2012	L/D_FRU
Porcentaje respecto a peso total		x	x	X		X
Grosor		x			CATIE,2012	GRO
Color		x		X	CATIE,2012	COL
% humedad		x	x	X	NTC 792	HUM
% cenizas		x	x	X	NTC 947-1	CEN
pH			x	X	AOAC 981.12 ISO1842	PH
°Brix			x	X	NTC4624, AOAC932.12	BRI
% Acidez titulable total			x	X	NTC 4623,NTC 5114 AOAC 942.15	ACI
Número de semillas por fruto				X	CATIE,2012	NUM_SEM
Forma de corte sección transversal				X	CATIE,2012	CTRAN_SEM
Forma del cotiledón				X	CATIE,2012	FOR_SEM

Prueba/Material	Fruto	Cáscota- Cáscara	Pulpa	Semilla	Normatividad	Codificación
Teobromina	y			X	AOAC	TEO_SEM
cafeína					Official Methods 980.14	CAF_SEM
Proteína				X		PRO_SEM

Fuente: Autor

5.3 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PROCESO DE MICROFERMENTACIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.).

Se trabajó con material en estado de madurez óptimo (grado 3), al cual se le realizó una limpieza y desinfección a la parte exterior del fruto con agua y alcohol al 70%. Después las mazorcas fueron cortadas longitudinalmente para hacer la extracción del grano en baba de la cacota (cáscara). La masa de fermentación fue medida en iguales cantidades para cada réplica. Después de ello se llevó a cabo el proceso de fermentación según el siguiente diseño experimental (Tabla 4) (Figura 6).

Tabla 4. Diseño experimental Microfermentaciones.

MÉTODO DE FERMENTACIÓN	DESCRIPCIÓN	REPLICAS
Tarrinas plásticas con clones individuales	La fermentación individual para cada clon en tarrinas de plásticas contó con orificios de drenaje para los exudados que se generaron durante la fermentación. Esta etapa se realizó bajo temperaturas controladas en una incubadora (Mettler, ICH 256) donde se mantuvo los primeros 3 días a una temperatura de 35°C (fase-anaerobia) y después a una temperatura de 45°C (fase aerobia). A partir del día tres, se comenzó la etapa de aireación en la fermentación mediante la remoción de los granos. (Bittenbender & Kling, 2009)	3

MÉTODO DE FERMENTACIÓN	DESCRIPCIÓN	REPLICAS
Tarrinas plásticas con mezclas	De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, se determinaron de manera estadística las mezclas de clones de cacao en base a las variables de respuesta como i.) Índice de fermentación, ii.) Prueba de corte, iii.) Análisis sensorial y iv) comportamiento fisicoquímico de la fermentación. Estas mezclas de cacao en baba, se pusieron en tarrinas plásticas en cantidades iguales de cada clon a mezclar, con pequeños orificios para que salieran los exudados durante la fermentación. Se mantiene el mismo rango de temperaturas controladas que las fermentaciones individuales (Bittenbender & Kling, 2009)	3

Fuente: Autor

El tiempo de fermentación a nivel de laboratorio osciló entre cinco a 7 días, los cuales fueron determinados en base a las pruebas físicas y químicas (CAOBISCO *et al.*, 2015). Estas permiten detener la fermentación cuando el grano ha desarrollado todas sus características organolépticas, las cuales pueden ser determinadas por inspección visual, en cambios de color y arriñonamiento. Aunque algunos estudios establecen que todo depende del material (Seguines, Mills, Marelli, Motamayor & Da Silva Coelho., 2011).

La masa empleada en cada una de las 3 réplicas por tarrina fue de aproximadamente 900 g y se les realizó volteos después del tercer día cada 24 horas con el fin de permitir una aireación dentro del recipiente.

Figura 6. Método de Microfermentación.



Fuente: Autor

A los granos de cacao se les realizó un seguimiento diario de pH, °Brix y Acidez tanto para testa + pulpa y cotiledón, durante los días 0, 3, hasta finalizar la fermentación.

De igual manera se realizaron otras pruebas con el fin de respaldar mejor la evaluación y seguimiento del proceso a partir de pruebas físicas y químicas como:

5.3.1 Prueba de corte diaria. Consistió en una toma de datos de manera cualitativa ya que depende del color y la profundidad de agrietamiento del grano. Para el seguimiento diario de la microfermentación se tomaron 3 granos por réplica y con un bisturí se les realizó un corte longitudinal para analizar la evolución al interior del grano y determinar los cambios de color que van desde púrpura a marrón, y agrietamiento del grano plano a arriñonado en función del tiempo, hasta que estos llegaran a una apariencia de granos bien fermentados, la cual es definida por la norma NTC 1252 (ICONTEC, 2003).

5.3.2 Pruebas Químicas.

5.3.2.1 Índice Fermentación. Se pesaron 0.2 g de granos de cacao fresco en tubos de falcón y se mezclaron con 20 ml de Metanol: HCl (97:3), se homogeneizó y paso a reposar en el refrigerador (8 °C) durante 19 horas, después se llevó a centrifugación por 20 minutos a 10.000 rpm y una temperatura de 4°C. Finalmente se tomó el sobrenadante y se leyó en el espectrofotómetro a una absorbancia de 460 y 530 nm. (Corpoica, 2015).

Se tuvieron como referencia los valores encontrados (tabla 5) para esta prueba por otros autores donde describen el grado de fermentación como:

Tabla 5. Escala de Índice de fermentación.

Índice de fermentación	Grado de fermentación
IF < 1	Fermentación insuficiente
1<IF<1.2	Fermentación correcta
IF > 1.2	Sobre fermentado

Fuente: Autor modificado a partir de Teneda (2015).

5.3.2.2 Polifenoles Totales. La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos se debe a su capacidad para eliminar los radicales libres. Para la determinación de polifenoles totales se tomaron 0.5 g de semilla previamente seca triturada, la cual fue mezclada en 12.5 ml de metanol al 80% en tubos falcón color ámbar, estos se llevaron al shaker durante 1 hora y luego a centrifugación a 7000 rpm por 15 minutos. Luego se tomaron 350 µL de sobrenadante del extracto y se mezclaran con 2.100 µL de agua destilada y 350 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu, después de 5 minutos se adiciona 700 µL de Na₂CO₃ al 20% con agitación continua, incubado por 2 horas en refrigeración. Por otra parte se usó ácido gálico como patrón de referencia para la curva de calibración con diluciones entre 0-400 mg/L, para determinar la concentración de ácido gálico asociada a una absorbancia a 760 nm en el espectrofotómetro. (Corpoica, 2017).

5.4 EVALUACIÓN DE FERMENTADORES A ESCALA PILOTO EN LA CALIDAD FINAL DE UNA MEZCLA DE CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.).

En esta tercera fase se realizó la réplica a nivel de campo de la mezcla conformada por 3 clones, con buen comportamiento en la calidad final a partir de un análisis estadístico que confirma su homogeneidad (físico, químico y sensorial). La mezcla fue evaluada en tres diferentes tipos de fermentadores (Tabla 6) (Figura 7).

Tabla 6. Diseño experimental Macrofermentaciones.

MÉTODO DE FERMENTACIÓN	DESCRIPCIÓN	REPLICAS
Fermentador tipo escalera- Madera	El fermentador cuenta con unas medidas de 80 x 80 cm por cajón y en la parte inferior orificios de drenaje para los exudados que se generaron durante la fermentación. Este fermentador debido a que no es de cierre hermético se le dispuso en la parte superior una tapa de hojas de plátano, previamente desinfectadas con alcohol al 70%. Está cubierta se hizo con el fin de ayudar a mantener la temperatura.	1
Fermentador tipo cajón inclinado - Policarbonato	El fermentador cuenta con unas medidas de 100x50 cm por cajón y en la parte inferior un doble fondo el primero con orificios de drenaje para los exudados que se generaron durante la fermentación y el segundo para la evacuación de los mismos. Este fermentador debido a que no es de cierre hermético se le dispuso en la parte superior una tapa de hojas de plátano, previamente desinfectadas con alcohol al 70%.Esta cubierta se hizo con el fin de ayudar a mantener más la temperatura.	1
Fermentador tipo tanque rotatorio- acero inoxidable	El fermentador circular con un diámetro de 80 cm y en la parte inferior con orificios de drenaje para los exudados que se generaron durante la fermentación, además con enchaquetado con el fin de ayudar a mantener mejor la temperatura. Este prototipo contaba con una remoción automática.	1

Fuente: Autor

El tiempo de fermentación en los tres prototipos fue de 8 días, este fue dependiente al seguimiento de la evolución del grano al paso del tiempo. La masa empleada en cada uno de los fermentadores trato de ser similar en un rango entre los 40 a 45 kg, se hizo la mezcla de los materiales en cantidades iguales. Además se realizó volteos después del tercer día cada 24 horas con el fin de permitir una aireación dentro del recipiente.

Figura 7. Tipos de fermentadores a escala piloto.



Fuente: Autor

A los granos de cacao se les realizó un seguimiento diario de pH, °Brix y Acidez tanto para testa + pulpa y cotiledón, durante los días 0, 3, hasta finalizar la fermentación .

5.4.1 Secado. Posterior a la etapa de fermentación, se realizó el proceso de secado natural al sol para todas las fermentaciones en el sistema de marquesina (Figura 8). Según el autor nogales, graziani & ortiz (2006) el grano se debe dejar agrupado con un

espesor de casi 2 cm. el sistema de secado duro 6 días con una remoción de cada 3 horas durante 12 horas continuas y un reposo de 12 horas, tratando de que el grano perdiera su humedad y calor interno de manera escalonada hasta alcanzar una humedad del $\leq 7\%$.

5.4.2

Figura 8. Método de secado - Marquesina.



Fuente: Autor





5.4.3 Prueba de corte. Esta prueba es la más usada a nivel nacional y consiste en un corte de 100 granos de cacao al azar en una guillotina (Figura 9), esta fue ajustada a nivel de las microfermentaciones, en donde se tomaron 10 granos al final del secado. Para las macrofermentaciones se hizo un seguimiento con prueba de corte en los días 6, 7 y 8. A todas las fermentaciones se les evaluó teniendo en cuenta la clasificación cualitativa (tabla 7), siguiendo la descripción de la norma NTC 1552 (Icontec, 2003).



Figura 9. Granos de cacao en guillotina para prueba de corte.



Fuente: Autor

Tabla 7. Clasificación de almendras secas de cacao según el grado de fermentación.

Tipo de grano	Características	Diferencia de los granos por forma y color
Bien fermentados	Grano de cacao cuyo proceso de fermentación ha sido completo y presenta cáscara de color marrón o rojizo, con fácil desprendimiento de la almendra, con una almendra de color marrón o rojizo oscuro con alveolos bien definidos de forma arriñonada.	
Insuficientemente fermentados	Grano de cacao con una fermentación incompleta, donde la almendra presenta color violeta o marrón violeta y estructura semicompacta.	
Granos pizarrosos	Grano de cacao sin fermentar, el cual presenta un color interior gris negruzco y estructura completamente compacta.	
Granos mohosos	Grano con formación interna de estructura de hongo perceptible a la vista, con olor y sabor desagradable.	

Tipo de grano	Características	Diferencia de los granos por forma y color
Granos germinados	Grano de cacao cuya testa o tegumento ha sido perforada o quebrada debido al crecimiento del embrión o radícula	
Daños por insectos	Grano de cacao que aparece alterado en su apariencia y cuya estructura presenta perforaciones o daños causados por insectos	

Fuente: Autor, Adaptado de la Norma técnica colombiana 1252, (2003).

De igual manera en esta prueba se tuvo en cuenta el porcentaje de humedad del grano, el peso o índice de grano y la masa peso en g/100 granos.

5.4.4 Tostado. Después del proceso de secado, los granos de cacao fueron llevados al horno a temperatura de 120°C, hasta que el grano alcanzara una humedad final del 2%.

5.4.5 Obtención de masa fluida de cacao. Después de tener los granos tostados estos fueron triturados en un molino eléctrico de cuchillas hasta obtener la masa de cacao, la cual se lleva a refrigeración para conservación hasta las pruebas sensoriales. (Amores, palacios, Jiménez & Zhang, 2009).

5.4.6 Evaluación sensorial. Se realizó la evaluación de cada una de las fermentaciones con el apoyo del panel sensorial en entrenamiento de Corpoica- Nataima. En cada sesión se evaluaron 4 muestras de masa fluida de cacao, evaluando las características de: i) sabores básicos como: la acidez, amargo, astringencia, ii) sabores específicos como: floral, frutal, nuez y iii) sabores adquiridos como: crudo o verde, entre otros. Todos estos parámetros se basaron en la NTC 3929 (Icontec, 2009), que establece una escala para la evaluación de la intensidad de cada una de las características nombradas anteriormente pero que en nuestro caso se ajustó para cacao en un rango de 0 a 10 (tabla 8), de la siguiente manera:

Tabla 8. Escala de clasificación sensorial.

Escala	Criterio
0	Ausente
1-2	Intensidad baja
3-5	Intensidad media
6-8	Intensidad alta
9-10	Intensidad alta/fuerte (muy alto)

Fuente: Autor

5.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

La caracterización morfológica y fisicoquímica de cada clon tuvo un análisis de varianza anova complementado con una comparación de medias según Tukey \pm error estándar, entre los cinco clones evaluados.

La evaluación de las variables físicas y químicas en microfermentación, se analizó a partir de un análisis estadístico descriptivo, complementado con un análisis de varianza ANOVA, que tuvo una comparación de medias según Tukey \pm error estándar, entre los clones evaluados.

La evaluación de las variables físicas y químicas en macrofermentación, se les aplicó un análisis de varianza ANOVA, complementando con una comparación de medias según Tukey en todos los días de fermentación \pm error estándar, y un análisis descriptivo entre los tres diferentes tipos de fermentadores. Todos estos análisis estadísticos se realizaron con la ayuda del software estadístico InfoStat/Libre®, versión 2017.

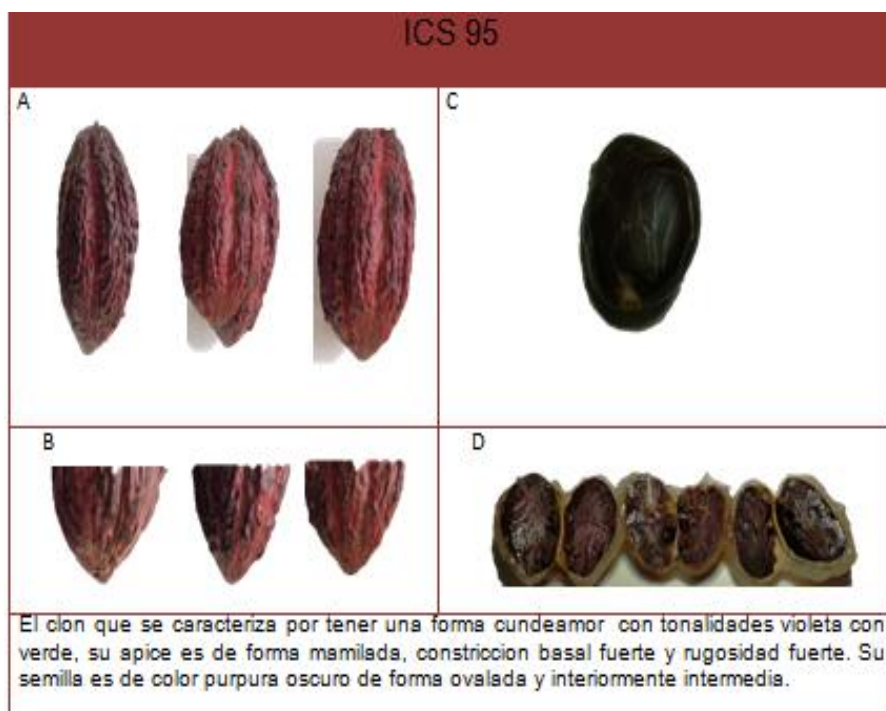
6 RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 EVALUACIÓN MORFOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE CINCO CLONES DE CACAO DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA.

6.1.1 Caracterización morfológica. El proceso de caracterización del material vegetal es importante para tener un estándar descriptivo y así determinar la diferencia entre especies.

6.1.1.1 Descripción cualitativa. En la Figura 10 se muestra las diferentes características de cada clon evaluado de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Figura 10. Caracterización cualitativa de cinco clones de cacao del departamento del Huila (*Theobroma cacao* L.).



TSH 565

A



C



B



D



El clon que se caracteriza por tener una forma angoleta con tonalidades amarillo con anaranjado, su apice es de forma aguda, constricción basal fuerte y rugosidad intermedia. Su semilla es de color púrpura oscuro de forma elíptica y interiormente intermedia.

ICS 39

A



C



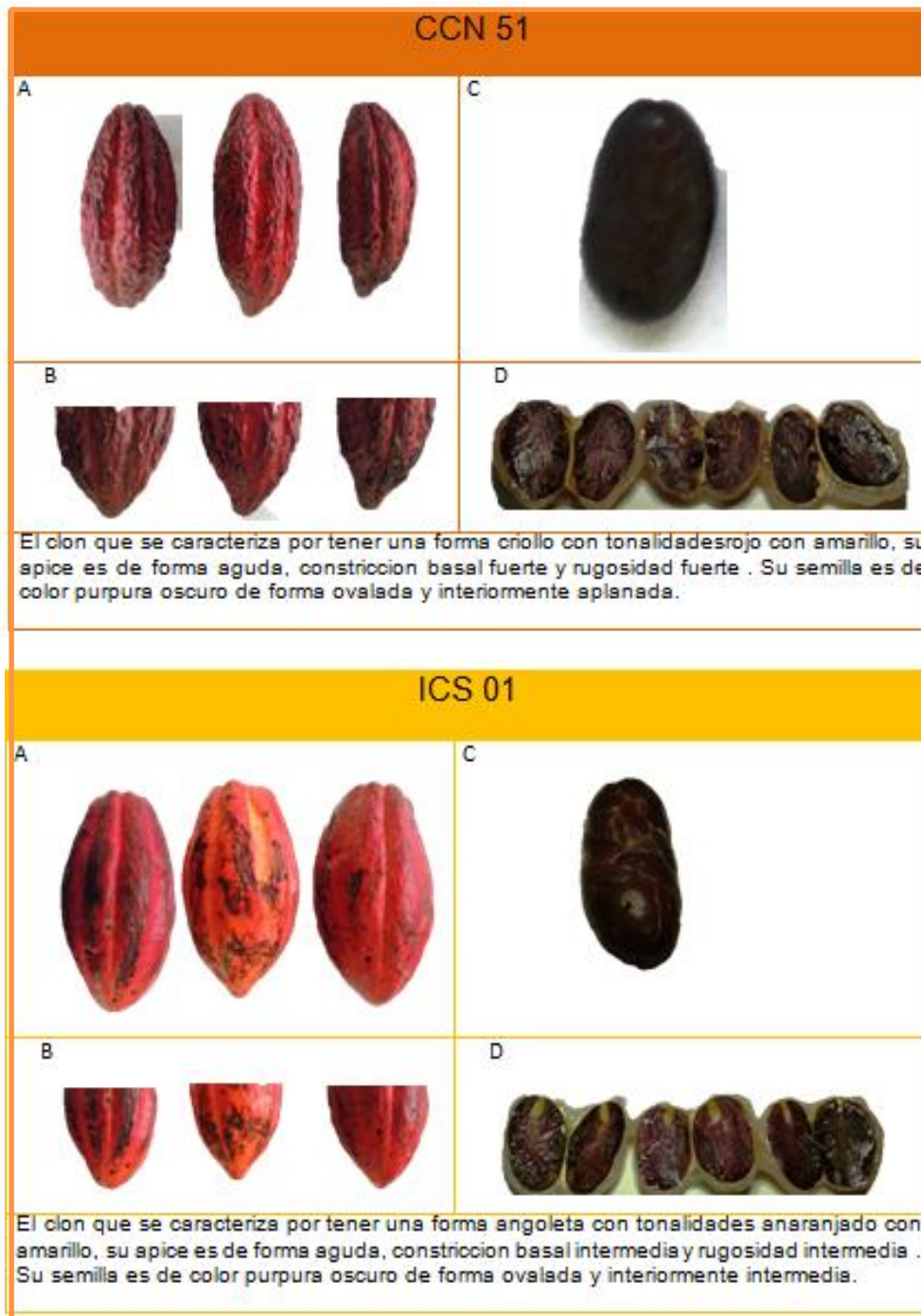
B



D



El clon que se caracteriza por tener una forma angoleta con tonalidades amarillo con verde, su apice es de forma atenuado, constricción basal intermedia y rugosidad fuerte. Su semilla es de color púrpura oscuro de forma irregular y interiormente intermedia.



A. Mazorca de cacao	C. semilla de cacao
B. Forma del apice de la mazorca de cacao	D. corte transversal de semilla de cacao

Fuente: Autor

6.1.1.2 Variabilidad genética por descriptores cuantitativos. En el Anexo B (Tabla 9) se presenta los promedios de las características físicas y químicas de 15 frutos en estado de madurez óptimo de cinco clones de cacao. Entre las variables estudiadas se encontró diferencias significativas ($P<0.05$). Donde el clon CCN 51 presentó el más bajo rendimiento en peso de pulpa y contenido de cafeína, alto rendimiento de número de semillas por fruta y porcentaje de acidez total en la pulpa, lo que explica porque fue seleccionado entre los materiales más productivos. Mientras que el clon ICS 95 muestra la menor cantidad de pulpa, y semillas por fruto. El clon TSH 565 mostró el menor diámetro de la semilla y el menor porcentaje de acidez en la pulpa. A diferencia del clon ICS 39 cuenta con el mayor diámetro de semilla. Finalmente el clon ICS01 presenta el mayor porcentaje de cafeína.

Tabla 9. Resultados físicos y químicos de 5 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Material	CCN 51	TSH 565	ICS 01	ICS 39	ICS 95
PES_FRU	768,00±37,4 a	702,00±68,43 a	810,00±34,07 a	775,33±76,70 a	667,33±39,75 a
L/D_FRU	8,64±11,00 a	8,85±7,10 a	7,48±6,17 a	8,29±4,60 a	8,14±5,23 a
IND_SEM	2,43 ± 0.2 b	1,59 ± 0.2 a	2,23 ± 0.3 b	2,73 ± 0.3 c	1,78 ± 0.2 a
CAF_SEM	0,26 ± 0.53 a	0,33 ± 0,03 a b c	0,48 ± 0.39 c	0,45±0,57 b c	0,28± 0,27 a b
TEO_SEM	1,28±0,10 a	1,03±0,04 a	1,38±0,14 a	1,10±0,14 a	0,91±0,08 a
PRO_SEM	13,77±0,00 c	11,82±0,11 a	13,38±0.02 b	13,80±0,05 c	13,54±0,00 b c
%_CAS	71,82±2,15 a	74,53±0,48 a	75,39±0,97 a	73,77±1,76 a	77,07±1,84 a
GRO_CAS	14,48±0,19 a	15,94±0,97 a	16,05±0,45 a	15,02±3,04 a	15,94±1,12 a
%_SEM	15,03±2,15 c	10,79±0,48 a b	12,88±0,97 b c	13,41±1,76 b c	8,89±1,84 a
HUM_CAS	17,72±1,07 a	15,23±1,36 a	16,39±1,87 a	20,49±2,11 a	18,44±0,51 a
CEN_CAS	2,36±0,37 a	1,81±0,14 a	1,96±0,23 a	3,63±0,63 a	2,55±0,66 a
PES_PUL	17,72±11,37 a	60,00±48,25 b c	64,67±33,51 b c	69,33±44,72 c	33,33±39,67 a b
pH_PUL	3,38±0,008a	3,53±0,02 b	3,49±0,03 a b	3,46±0,01 a b	3,46±0,03 a b

Material	CCN 51	TSH 565	ICS 01	ICS 39	ICS 95
%_PUL	2,33±0,22 a	8,53±0,08 b	7,99±0,42 b	8,80±0,76 b	5,06±0,96 a
HUM_PUL	28,31±0,31 a	26,82±0,71 a	26,89±1,37 a	24,07±1,58 a	29,57±1,63 a
CEN_PUL	0,26±0,07 a	0,39±0,08 a	0,76±0,32 a	0,67±0,24 a	0,59±0,10 a
BRI_PUL	3,19±0,14 a	2,50±0,23 a	2,81±0,20 a	2,61±0,20 a	2,33±0,29 a
ACI_PUL	7,08±0,60 b	4,75±0,02 a	6,76±0,60 a b	6,71±0,52 a b	5,18±0,49 a b

Fuente: Autor.

Como se puede evidenciar se presentan diferencias significativas a nivel de la cafeína con un $P < 0,05$ donde la mayor diferenciación se encontró en el clon ICS 01 con 0,48%. En cuanto a la teobromina no se presentaron diferencias significativas. Estos compuestos son de importancia en el cacao ya que constituyen el 99% del contenido de los alcaloides y además permiten clasificar la genética del clon (Amores *et al.*, 2009). Para granos no fermentados y secos se puede encontrar cafeína desde un 0.2% y teobromina en un 1.2% (citado por Recalde, 2007). En este estudio se encontró que se presentan valores de teobromina entre 0.91-1.38% y de cafeína de 0.26-0.48%, en los granos secos después de tres días de fermentación. Algunos estudios reportan que no existe una variación entre los días de fermentación y la concentración de teobromina y cafeína (Recalde, 2007; Rivera *et al.*, 2012).

Hansign (2004) define una escala para los diferentes grupos genéticos donde el cacao trinitario muestra una relación de 5 a 10 en teobromina/cafeína, que comparado con nuestros datos el clon CCN 51 es el que presenta mayor relación frente a este, el resto de clones presentan un valor menor el cual puede ser debido a una polinización cruzada en la zona de cultivo.

A nivel de proteína se tiene diferencia significativa ($P < 0,05$) el cual muestra que el clon TSH 565 es el material que contiene menos porcentaje de proteína cruda con 11.82% y el clon ICS 39 es el material que contiene una mayor proteína con 13.80%. Según Bertazzo, Comai, Brunato, Zancato & Costa (2011) los granos de cacao usualmente tienen entre el 10 a 15% de proteína, que está compuesta por un 43% de globulina que al igual esta subcompuesta por vivilina y un 52% de albumina. Este contenido de proteína

es importante ya que interacciona con taninos a través de puentes de hidrógeno, que dan pasó a la generación de pigmentos marrones insolubles en agua. Se encontraron valores similares en otros estudios donde muestran un rango de los clones evaluados del 12.0-13.4 % de proteína cruda. (Fedecacao, 2005; Bertazzo *et al*, 2011; Portillo *et al*, 2009).

6.2 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PROCESO DE MICROFERMENTACIÓN DE CINCO CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.).

Se realizó la evaluación de variables físicas y químicas durante un tiempo máximo de 6 días de fermentación en tarrinas plásticas a temperaturas controladas.

6.2.1 Prueba de corte diaria. La prueba de corte fue una de las variables cualitativas que se tuvo en cuenta para determinar la fase final de fermentación de cada uno de los materiales. Este registro se llevó a cabo a partir del tercer día de fermentación, ayudando a determinar cómo se comporta el grano según sus características físicas como cambio de color y arriñonamiento. En la Figura 11 se observa el corte transversal de 3 granos de cacao que reflejan las cualidades visuales aceptables para definir que el proceso de fermentación ha culminado.

Figura 11. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.



Material: ICS 95



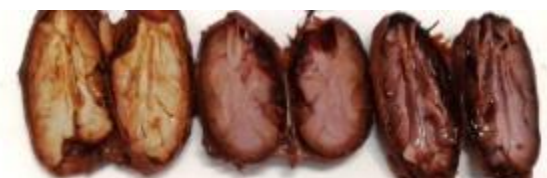
Material: ICS 01



Material: CCN 51



Material: TSH 565



Material: ICS 39

Fuente: Autor

Según la prueba de corte, el tiempo de fermentación para los clones ICS 01, ICS 95 fue de 5 días, mientras que para los clones TSH 565, CCN 51 Y ICS 39 fue de 6 días, después de iniciado el proceso de fermentación. Esto fue determinado a partir de que el grano presenta características deseables como el cambio de color en la almendra (marrón), arriñonamiento causado por los ácidos volátiles y lixiviados en el interior.

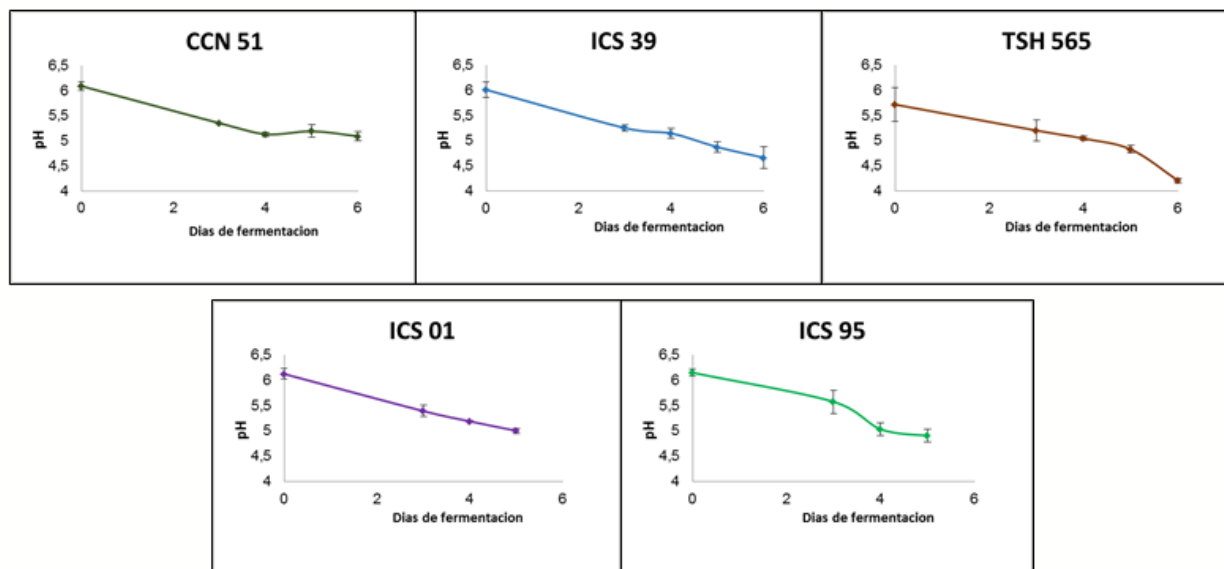
6.2.2 Registro del pH. El grado y el tiempo de acidificación de los cotiledones durante el proceso de fermentación, juegan un papel importante en la formación de precursores de aroma. Según Biehl & Voiggt (1996) y Afoakwa (2010), el pH final idóneo de la fermentación de cacao esta entre 4.75 - 5.19, si el pH es menor a 4.5 este reducirá los precursores de sabor y se generará una difusión lenta de ácidos orgánicos a través del cotiledón y si el pH es mayor a 5.5 se observará que estos aún no están bien fermentados con posibles problemas de astringencia y amargor.

La evolución del pH en los cinco clones (Anexo C) muestra que el cotiledón sin fermentar tiene valores que oscilan entre 5.71 y 6.15 con una tendencia de disminución a medida que avanza la fermentación (Caballero *et al.*, 2014).

El análisis de varianza del pH mediante la prueba Tukey, muestra una diferencia significativa para el cotiledón en los días 5 y 6 de fermentación ($P < 0.05$), en especial entre los clones TSH 565 Y CCN 51. De igual manera, se presentó diferencia significativa en la testa + pulpa en los días 4 y 5 de fermentación. En los primeros días de fermentación las levaduras comienzan rápidamente una fermentación alcohólica generando una disminución del pH, y al mismo tiempo la descomposición de la pulpa con pérdida mediante la sudoración, al paso del tiempo los productos resultantes como ácidos penetran el grano iniciando la estimulación de reacciones enzimáticas (Afoakwa, 2010).

En la Figura 12, se observa el comportamiento del pH a lo largo de las microfermentaciones. Los valores de pH en el último día de fermentación para los clones ICS 01, ICS 95 y el CNN 51, se encuentran entre 4.9-5.09, terminando en el rango óptimo de pH. Mientras que los clones ICS 39 y TSH 565 presentaron un pH final de 4.65 y 4.2, respectivamente. Este comportamiento, se puede atribuir a que cada material cuenta con un desarrollo distinto debido a sus características bioquímicas iniciales, estas tendencias también se han observado en trabajos anteriores (López, 1983; Portillo, 2000; Cubillos et al, 2008).

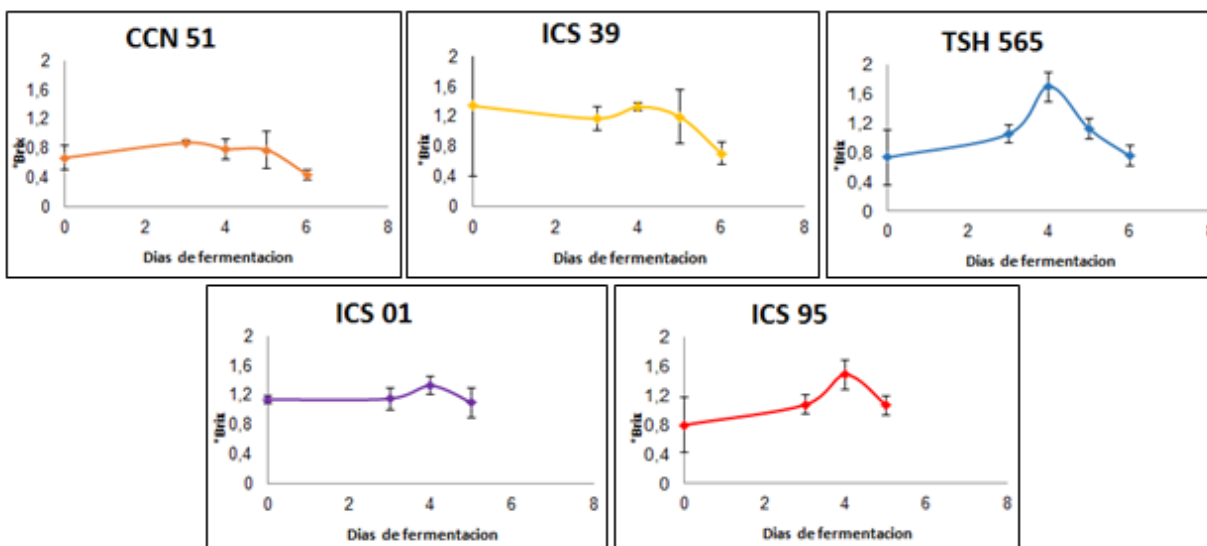
Figura 12. Evolución del pH del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.



Fuente: Autor

6.2.3 Registro de °Brix. El contenido de azúcares iniciales es clave en el proceso de fermentación debido a que estos dan lugar a la primera etapa anaeróbica. En el Anexo D, se puede observar la variación de los °Brix en el cotiledón respecto al paso del tiempo en la fermentación. El cotiledón presenta una diferencia significativa en los días 3, y en el día 4 al igual que la testa + pulpa. El comportamiento de los °Brix en la testa + pulpa, tiende a disminuir, lo cual se debe a que los azúcares iniciales son consumidos por las levaduras mediante la fermentación alcohólica dando paso a la formación de alcohol y dióxido de carbono. (Afoakwa, 2010).

Figura 13. Evolución del °Brix del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.



Fuente: Autor

Se puede observar en la Figura 13 que el clon ICS 39 cuenta con la mayor concentración de grados °Brix inicial a diferencia del clon CCN 51 que inicia con 0.68 de grados °Brix a nivel del cotiledón. Además se puede evidenciar que en todos los clones al día 4 los grados °Brix empiezan a descender. Esto se puede deber a que en este día se da el proceso de conversión azúcares al interior del cotiledón. (ADM cocoa & deZaan, 2013).

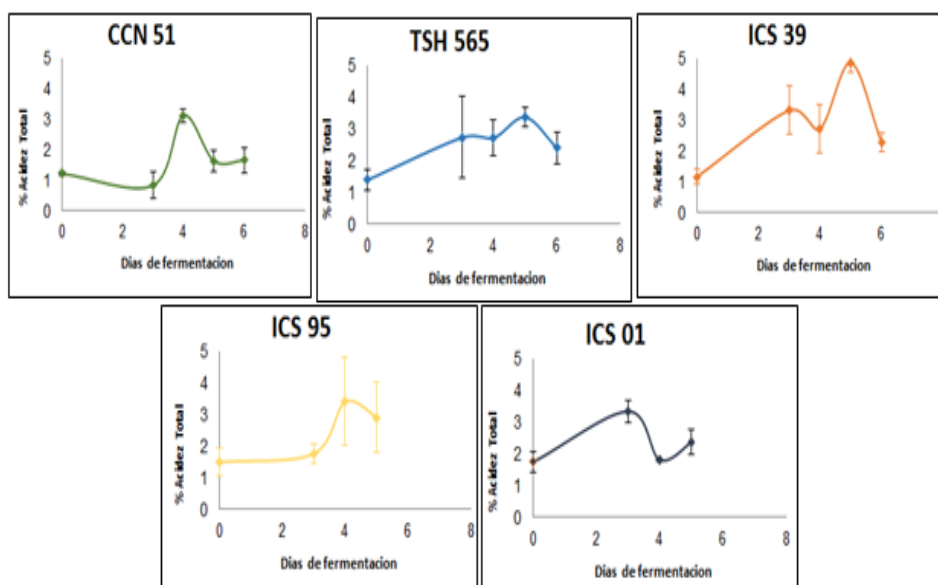
6.2.4 Registro de la acidez total. La pulpa mucilaginosa del grano se somete a fermentaciones etánolicas, acéticas y lácticas donde se desarrollan reacciones exotérmicas y ácidos orgánicos entre otros, que detienen la germinación del grano. Los cambios en las membranas celulares generan movimiento de enzimas, sustratos y productos que generan una hinchazón notable en el grano (Afoakwa, 2010).

Se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el día 3 de fermentación (Anexo E) donde el clon CCN 51 presenta el menor porcentaje de acidez total con 0.84% a diferencia del clon ICS 01 y ICS 39. Esta variabilidad se debe a que las velocidades de

reacción en el proceso de fermentación, determinadas por la temperatura y el nivel de acidez.

La acidez es un factor clave junto con la temperatura para dar inicio a todas las reacciones generadoras de los precursores del aroma en la almendra del cacao y estos son responsables de la muerte del embrión (Beckett, 2009). Adicionalmente, la acidez en el proceso de fermentación va aumentando con el tiempo debido a la conversión de los azúcares en alcoholes y estos en ácido acético debido a las bacterias ácido acéticas. (Beckett, 2009; Afoakwa, 2010)

Figura 14. Evolución de acidez del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones



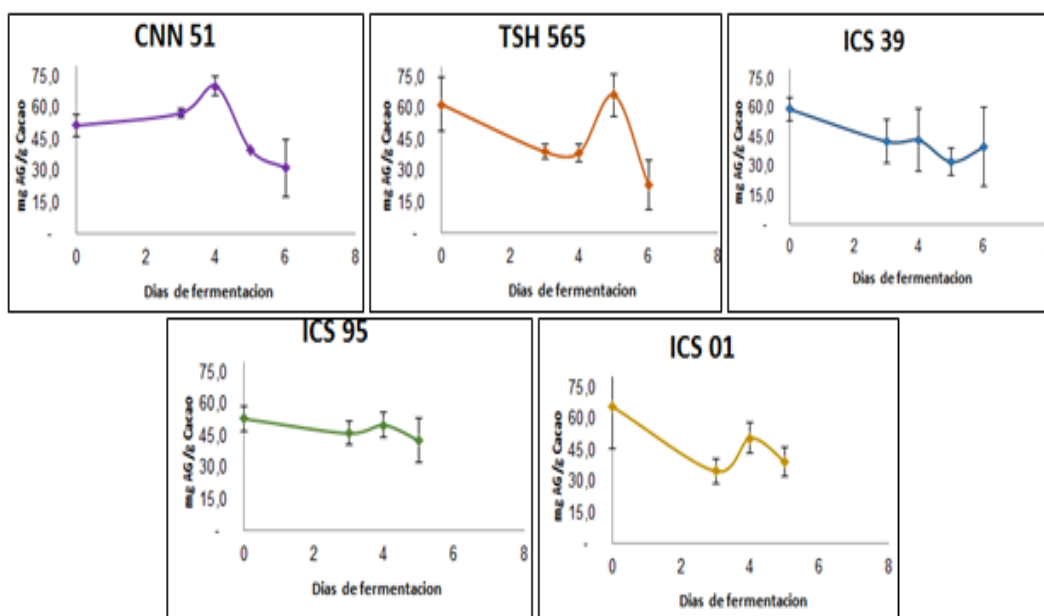
Fuente: Autor

Se puede observar en la Figura 14, que los clones a pesar que inician casi en el mismo porcentaje de acidez total, tienen un comportamiento diferente al paso del tiempo. De igual manera se observa, que los cambios más drásticos se dieron después del cuarto día excepto para el ICS01. Este comportamiento se puede asociar al contenido de sólidos solubles iniciales que fue mayor en el clon ICS 39 e ICS 01 al inicio de la

fermentación dando una relación directa entre estas dos variables. Todos los clones terminaron aproximadamente en una acidez superior a 2.0%.

6.2.5 Registro de polifenoles totales. En el Anexo H y Figura 15 se observa una variación en el comportamiento de los clones al paso del tiempo, donde el clon ICS 39 finaliza con el mayor valor de 39.4 mg ácido gálico/g cacao sin desengrasar, a diferencia del clon TSH 565 con uno de los más bajos contenidos entre todos los clones al final de proceso de secado 23.4 mg AG/g cacao sin desengrasar.

Figura 15. Evolución de polifenoles totales del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.



Fuente: Autor

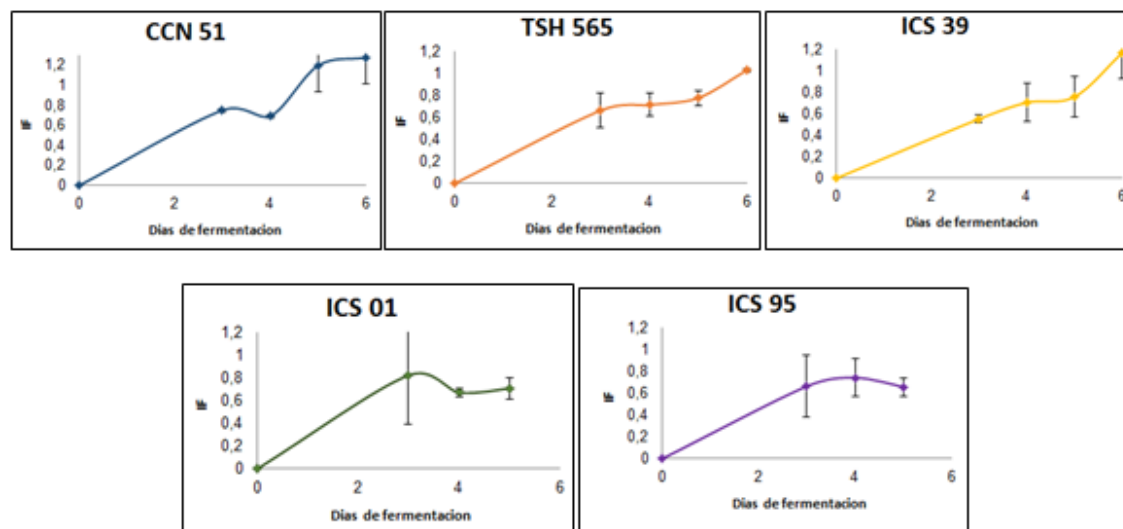
Según el análisis de varianza realizado se tiene diferencia significativa en los días 4 y 5 del proceso de fermentación ($P < 0.05$), donde en especial los clones TSH 565 al día cuarto tiene el menor contenido de polifenoles, a diferencia del clon CNN 51 que cuentan con casi el doble polifenoles para el mismo día. Este aumento de polifenoles en el día 4 que puede ser debido una formación de proantocianidinas poliméricas (taninos). Después de este día se tiene una disminución causada por los polifenoles catequina y

epicatequina, debido a que estos son oxidados a quinonas durante la fermentación. Así se haya empleado un tratamiento igual y estandarizado para cada clon la variabilidad entre clones se puede deber a que no todos los materiales inician con la misma cantidad de polifenoles debido a su composición química. (CAOBISCO *et al.*, 2015; como se cita en Zapata, Tamayo & Rojano, 2013).

6.2.6 Registro de índice de fermentación. El índice de fermentación es útil para determinar de manera química el grado de fermentación del grano, puesto que el proceso de hidrolización de las antocianinas y la polimerización con las catequinas simples, permiten la formación de taninos complejos que pueden ser determinados por espectrometría.

Como se muestra en el Anexo F, se encuentran diferencias significativas en el día 5 donde el clon ICS 95 presenta el menor índice de fermentación con un IF de 0.66 y el clon CCN 51 con un IF de 1.20. Esta similitud igualmente fue encontrada por Espin & Samaniego (2006), que plantean que el IF óptimo esta correlacionado a variables bioquímicas del origen del material, y que para su estudio el clon ICS 95 tiene un IF idóneo al día 4, y el CCN 51 al día 5. Como se muestra en la Figura 16 este comportamiento ascendente se da debido a la inversión de la relación entre la condensación de flavonoides y antocianinas, estas últimas son hidrolizadas por acción de las glicosidasas, causando las modificaciones el blanqueado en el grano. A mayor compuestos de condensación mayor grado de fermentación (citado por Rivera *et al.*, 2011; Zapata *et al.*, 2013).

Figura 16, Evolución del índice de fermentación del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.

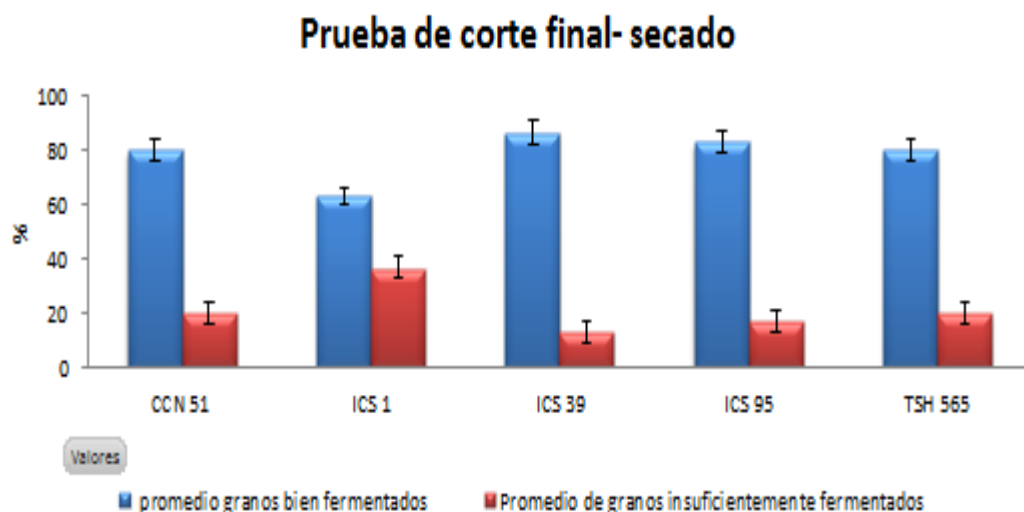


Fuente: Autor

Las almendras fermentadas presentaron un índice de fermentación entre valores de 0.65-1.27 respectivamente. Según Afoakwa *et al.* (2012) y Amores *et al.* (2006), un valor del índice de fermentación $\geq 1 < 1,2$ indica que los granos de cacao están suficientemente fermentados y que valores superiores se consideran totalmente fermentados. Por ende se puede determinar que los clones ICS 39, TSH 565 y CNN 51 cumplen con una buena fermentación al sexto día, corroborando los resultados de la prueba de corte diaria. Para los clones ICS 95 Y ICS 01 que terminaron en el día 5, su valor fue menor a 1 por lo que es posible que estos clones necesitaran un día más de fermentación.

6.2.7 Registro prueba de corte final. Esta prueba se realiza después del proceso de fermentación y secado de los granos de cacao. Las almendras cambian su tonalidad debido a diferentes reacciones como la hidrólisis de las antocianinas, oxidación de las agliconas y los compuestos fenólicos. (Ortiz de bertorelli, Graziani de Fariñas, & Rovedas, 2009; Álvarez *et al.*, 2010).

Figura 17. Evolución de la prueba de corte final del cotiledón de cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.



Fuente: Autor

A partir de los resultados de la Figura 17 según la norma NTC 1252 (2003), se puede analizar que el clon ICS 01 se denomina como un cacao tipo corriente ya que contiene un 65% de granos fermentados y un 35% de granos insuficientemente fermentados, a diferencia de los clones TSH 565, CCN 51, ICS 39 y ICS 95 que todos superan el 65% de granos bien fermentados y un porcentaje menor de 25% en granos insuficientemente fermentados clasificándolos en cacao premio. La presencia de granos pizarrosos solo se evidenció en el clon ICS 01 sin embargo según autores este porcentaje puede ser debido a frutos que no tenían un adecuado grado de madurez. (Ortiz de Bertorelli *et al.*, 2009). Según estudios realizados por Fedecacao se establece un promedio de granos bien fermentados para los clones evaluados entre (54-64%) siendo que las fermentaciones mostraron un mayor resultado frente a lo publicado por Fedecacao en los clones TSH 565, CCN 51, ICS 95 y ICS39. (Fedecacao, 2005).

Como se muestra en el Anexo G se presenta diferencia significativa a nivel del índice de grano donde el clon TSH 565 presenta el menor índice de 1.39 g al final de la etapa de secado, a diferencia del clon ICS 39 que presenta el mayor índice de 2.27 g. Esta información ha sido corroborada por otros autores que indica que el clon con menor

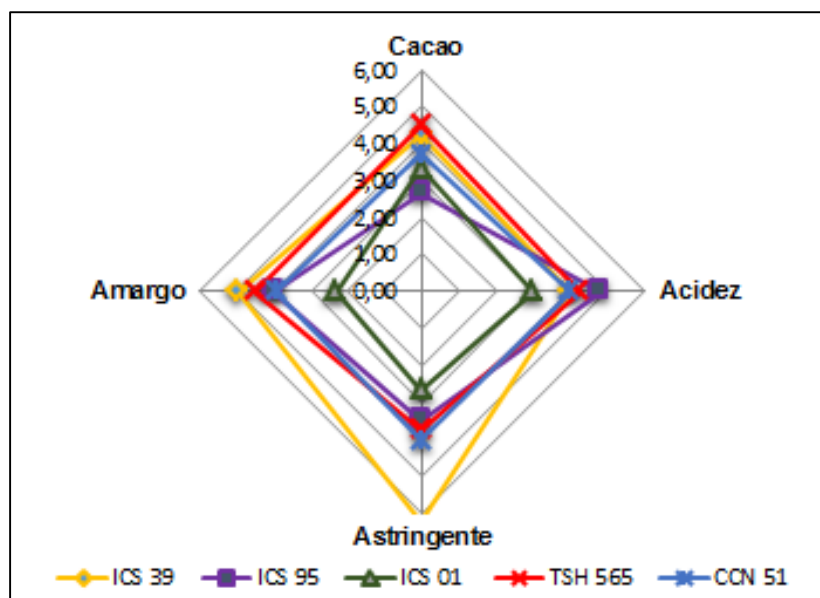
índice de grano en el Huila es el TSH 565 y ICS 95 entre nuestros evaluados y el ICS 39 con el mayor índice de grano (Martínez,2016; Fedecacao,2005).

6.2.8 Análisis Sensorial. La compra de cacao a nivel nacional se determina a partir de los resultados de calidad mediante la prueba de corte. Sin embargo, esta prueba es subjetiva involucrando la evaluación visual de los cambios de color y textura al interior del grano de cacao, aunque no constituye un indicador fiable de la calidad del sabor. (Stevenson *et al.*, 1993; BCCCA, 2016).

Según diferentes autores se puede determinar que hubo una buena fermentación cuando en la prueba organoléptica se encuentran sabores marcados a cacao, nueces, flores y dulce, adicionalmente si el clon es trinitario también se pueden sentir sabores y aromas de vino, pasa, melaza y una menor tendencia de sabores ácidos, amargos y astringentes (Quintana, 2015; Afoakwa, 2010).

De acuerdo a los perfiles sensoriales emitidos por los panelistas (Anexo I) se observó que todos los clones están en una base baja- media de sabor a cacao según la escala planteada que se basa en una calificación de cero a diez, esta calificación puede ser debido a la variedad de cacao, el clima, el suelo, y el tratamiento post-cosecha (González et al, 2012). El menor valor de cacao lo obtuvo el clon ICS 95 con una calificación en promedio de 2.67, esto puede ser debido a que se obtuvieron granos inmaduros y no bien fermentados al final del proceso dando poca acentuación del sabor (González et al, 2012). Al contrario del clon CCN51 que obtuvo el mayor valor de cacao con una calificación de 4.8.

Figura 18. Perfil sensorial del cacao fermentado en tarrinas plásticas para 5 clones.



Fuente: Autor

En el caso de sabores como acidez, astringencia y amargor lo idóneo es baja acentuación de estos sabores en el grano. (Jinap *et al.*, 1990). Para la acidez se tuvieron calificaciones de los panelistas en nivel bajo-medio donde el clon CCN 51 fue con el conto con menor acidez (2.0) y el clon ICS 95 con una mayor acidez (4.83), este último clon contiene una alta acidez debido a diferentes razones como: i) el índice de pérdida de agua fue mayor al de ácido por este se retiene en el cotiledón ii) el secado se realizó de manera rápida, es decir con elevadas temperaturas dando como consecuencia un sellado o endurecimiento de la cáscara impidiendo la eliminación de la acidez volátil (ácido acético).

En el caso de sabores amargos y astringentes el clon ICS 39 contó con una alta calificación respecto a astringencia (6.25) y amargor de 5.0. Este problema puede ser derivado del proceso de secado, debido a que altas temperaturas se detiene o interrumpe la hidrolisis enzimática de las antocianinas generando sabores no deseables, si este defecto de sabor se da desde fermentación puede ser por la no oxidación de la proteína-polifenoles, complejos formados anaeróbicamente evitando la reducción de astringencia y amargor (Afoakwa *et al.*, 2010)

En otros sabores el ICS 01 resaltó con un puntaje bajo (0.0) en floral quizás estas notas ausentes se dieron por el bajo contenido de alcoholes y para este mismo clon un puntaje bajo (0.0) en frutal, revelando que posiblemente no se llevó a cabo una concentración de aldehídos, cetonas como 2-metilbutanal y esterres que favorecen la producción de notas frutales (Mermet, 1989; Cros, Jeanjean, & Tontillon, 1997; Jinap *et al.*, 1998; Portillo *et al.*, 2009). Uno de los sabores más deseados es el de nuez, que según Afoakwa *et al.* (2010) las pirazinas son los principales componentes responsables de este atributo, el cual se registró en los materiales TSH 565 (2.25) y ICS 01 (1.67) aun así en una escala baja. De igual manera se destaca la reducción de sabores dulces atribuido al bajo contenido de ácidos aromáticos y a los productos de la degradación del azúcar.

Para los sabores adquiridos que se califican como defectuosos, como lo es el sabor verde se tuvo una calificación alta para el clon ICS 39 (3.25) y la menor calificación fue para el clon ICS 95 (1.67), lo que indica que el proceso de beneficio se llevó a cabo de manera exitosa en casi todos los clones.

Según el análisis de las microfermentaciones individuales se puede observar una serie de similitudes en correlación de los clones posibles para formar mezclas, las cuales fueron propuestas como:

- ✓ Mezcla 1. Según la prueba de **índice de fermentación**, con resultados mayores a uno al sexto día de fermentación, el cual fue para los clones TSH 565, ICS 39 y CCN 51.
- ✓ Mezcla 2. Estos clones presentaron similitud en el comportamiento del **pH** a lo largo de la fermentación con una desviación no mayor a 0.65. La cual está conformada por los clones ICS 39, CCN 51 y ICS 01.
- ✓ Mezcla 3. Es la mezcla de clones que presentan un valor de **índice de grano** menor a 1.7 g, siendo los clones TSH 565, CCN 51 y ICS 95.
- ✓ Mezcla 4. Durante el proceso de fermentación presentaron valores de **pH** iniciales y finales semejantes, está la conforman los clones CCN 51, ICS 01 y ICS 95.
- ✓ Mezcla 5. Mezcla de todos los clones ICS 39, ICS 01, CCN 51 TSH 565 y ICS95.

- ✓ Mezcla 6. Estos clones presentaron el menor promedio de **granos fermentados** al final de la fermentación. Por consiguiente está conformada por los clones TSH 565, ICS 01 y ICS 95.
- ✓ Mezcla 7. Unión de clones que presentaron comportamiento similar en el **índice de fermentación y pH** a lo largo de la fermentación, conformada por TSH 565 y ICS 39.
- ✓ Mezcla 8. Estos clones presentaron finalización del tiempo de fermentación al quinto día mediante la **prueba de corte diaria**. Clones ICS 01 y ICS 95.
- ✓ Mezcla 9. Estos clones se determinaron a partir de la diferenciación de **pH** donde se combinó el de mayor pH al final del proceso de fermentación con el de menor pH. Esta la conforman por los clones TSH 565 Y CCN 51.

6.3 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL PROCESO DE MICROFERMENTACIÓN DE NUEVE MEZCLAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.).

6.3.1 Registro mezcla 1._ Este proceso de fermentación se realizó con tres clones de cacao TSH 565, ICS 39 y CCN 51. En la Gráfica 8 se muestra el comportamiento durante los siete días de fermentación determinados por prueba de corte. (Figura 19).

Figura 19. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.



Día: 0



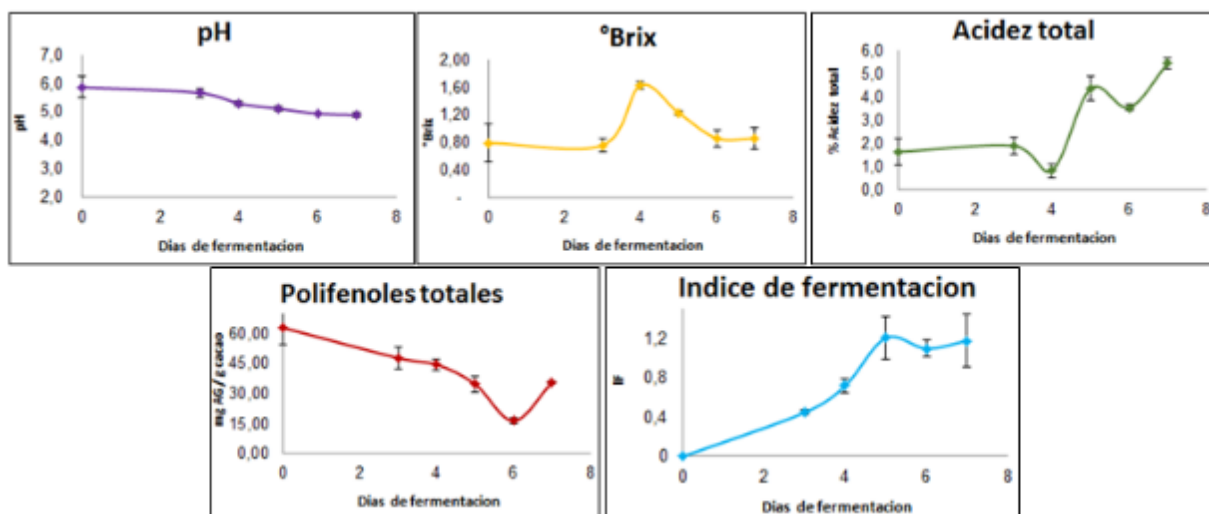
Día: 7

Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron en el seguimiento de la fermentación (Figura 20) (Anexo J) para todas la variables, muestra que el pH en el cotiledón va disminuyendo al paso del tiempo de fermentación, debido a que los ácidos orgánicos, como el ácido acético en

particular, se difunden a través de del grano disminuyendo el pH interno y causando una ruptura de las membranas celulares. (Caligiani, Marseglia, Prandi, Palla & Sforza, 2016). A nivel del cotiledón se presenta un aumento en los °Brix, y una disminución del % acidez total al día 4, esto significa que la condición óptima para la hidrólisis enzimática de sacarosa y proteínas en los granos está en el intervalo ácido (citado por Beckett, 2009).

Figura 20. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 1 en el proceso de fermentación.



Fuente: Autor

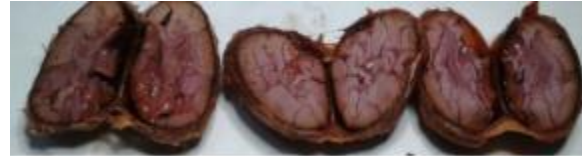
En el caso del seguimiento de las pruebas químicas (Anexo K), se puede evidenciar que el índice de fermentación a nivel del cotiledón al día 5 alcanza un promedio mayor a uno. A nivel de polifenoles totales estos tienen un pequeño aumento al final de la fermentación el cual puede darse debido a la formación de proantocianidinas poliméricas (taninos) (citado por Zapata *et al.*, 2013).

6.3.2 Registro mezcla 2. La fermentación se realizó con la mezcla de tres clones de cacao ICS 39, CCN 51 y ICS 01. En la Figura 22 se muestra el comportamiento de los siete días de fermentación determinados a partir de la prueba de corte diaria (Figura 13).

Figura 21. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.



Día: 0



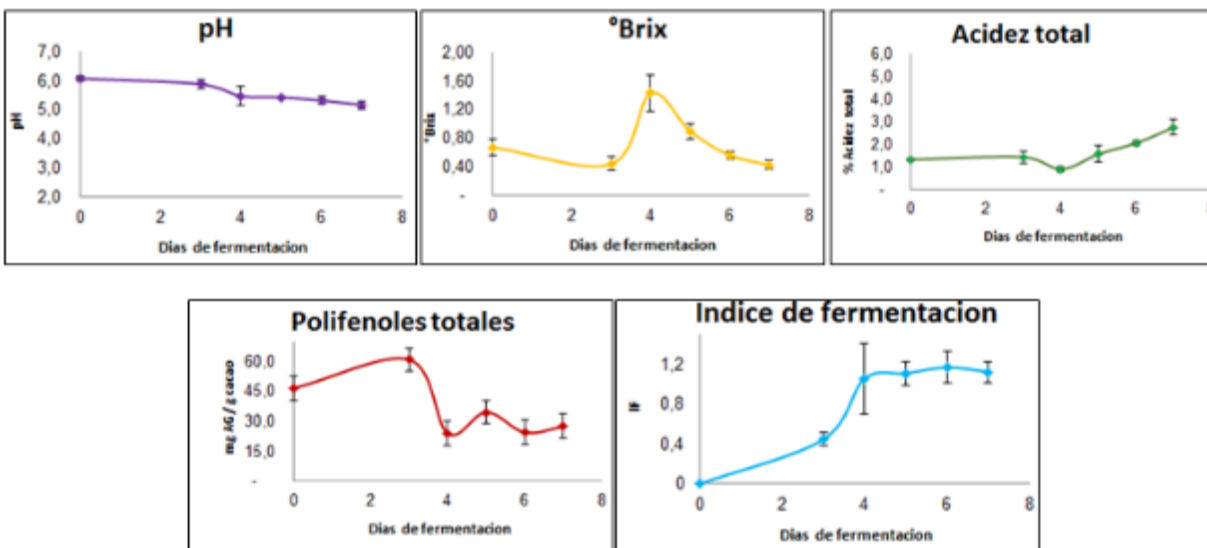
Día: 7

Fuente: Autor

Como se muestra en el Anexo J, se tiene que el pH a nivel de cotiledón inicia en un valor de 6.08, el cual al paso del tiempo va disminuyendo, siendo directamente proporcional al % de acidez total. Para el día 4 se presenta el menor valor de pH y acidez, esto debido al aumento de °Brix para el mismo día de 1.43, a causa de la entrada de azúcares al cotiledón, y del desdoblamiento de la sacarosa en fructuosa y glucosa en un casi 85% (Pazmiño, 2005).

En el caso de los polifenoles (Anexo K) estos presentan bastante fluctuación a nivel del cotiledón al paso de los días de fermentación, que para el día 5 el muestreo tomado posiblemente no había tenido un proceso de oxidación continuo con el resto de la fermentación (Teneda, 2016). Para el índice de fermentación se puede observar que la mezcla al día 4 llega a un grado de fermentación mayor a 1.

Figura 22. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 2 en el proceso de fermentación.



Fuente: Autor

6.3.3 Registro mezcla 3. Se realizó a partir de tres clones de cacao TSH 565, CCN 51 y ICS 95. En la Figura 24 se muestra el comportamiento de los siete días de fermentación a partir de la prueba de corte diaria (Figura 23).

Figura 23. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.



Día: 0



Día: 7

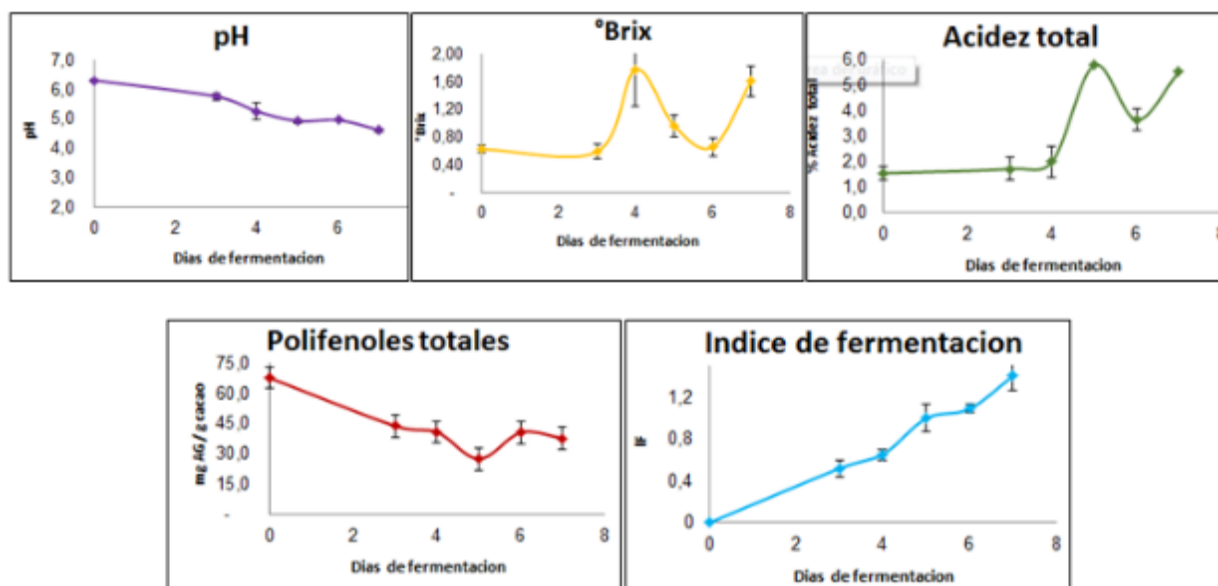
Fuente: Autor

Se encontró para esta mezcla a nivel de pH del cotiledón (Anexo J) inicia con 6.32 siendo uno de los mayores pH iniciales entre todas las mezclas evaluadas y finalizó el proceso al día 7 con un pH de 4.63.

Para los °Brix se pudo observar que en el proceso de fermentación al día 3, se tiene un aumento rápido en tan solo 24 h, siendo la mezcla con más alto contenido de °Brix para este día entre todas las mezclas evaluadas y presentando un alto contenido al final de la fermentación siendo algo irregular según estudios de Caligiani *et al.*, (2016) los cuales demuestran que estos altos niveles se alcanzan a más tardar al día 5.

Por otra parte, la acidez total de esta mezcla se comporta de manera variable mostrando la elevación de acidez a nivel del cotiledón, donde el pico más alto se presenta al día 7 con un 10.55%, siendo la acidez más alta registrada entre todas las mezclas para ese mismo día; esto puede ser debido a una elevación de ácido acético en el cotiledón (Torres, De Fariñas, Ortiz de Bertorelli & Trujillo, 2004)

Figura 24. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 3 en el proceso de fermentación.



Fuente: Autor

En el caso de los polifenoles totales (Anexo K), en esta mezcla a nivel del cotiledón se inicia con 67.61 mg AG/ g cacao sin desengrasar, siendo lo esperado debido a que los clones en esta fermentación tienen un contenido de polifenoles totales entre 53- 62 mg AG/ g cacao (Martínez, 2015), y se puede evidenciar un descenso de manera marcada

al día 5, presentando el menor contenido de polifenoles para este día entre todas las mezclas. En el caso del índice de fermentación para el cotiledón se presentó un aumento gradual que para el día 5 alcanza un valor de 1, comportamiento similares fueron reportados por otros autores. (Teneda, 2015; Espin & Samaniego, 2006).

6.3.4 Registro mezcla 4. Para esta fermentación se utilizaron los clones CCN 51, ICS 01 y ICS 95 que tuvo un proceso de fermentación de siete días, definidos por la prueba de corte (Figura 25).

Figura 25. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.

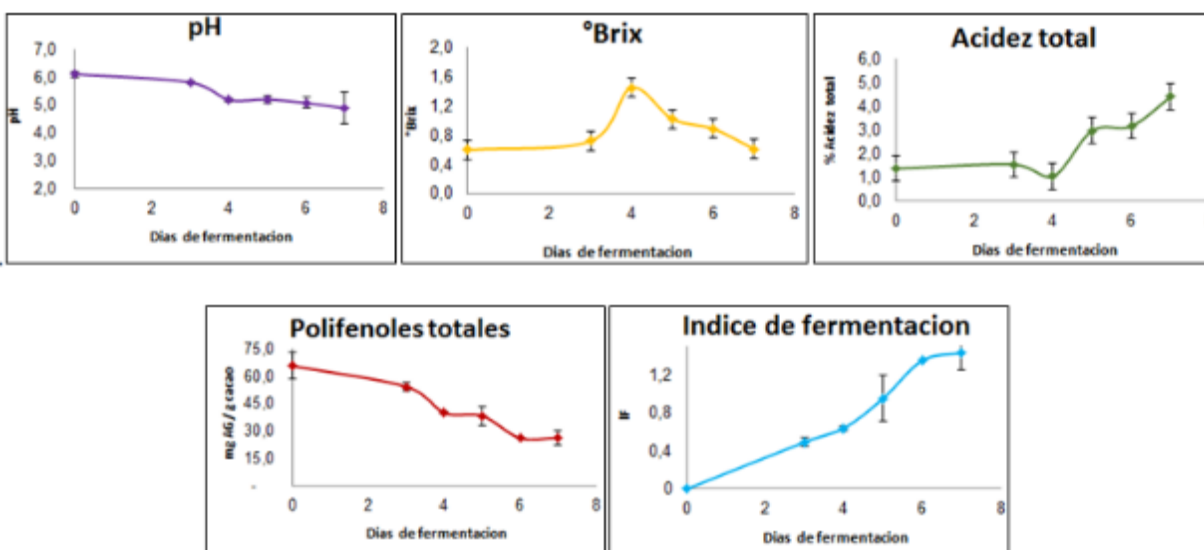


Fuente: Autor

Se determinó que para esta mezcla (Figura 26) (Anexo J) se da un pH inicial a nivel de cotiledón que al paso del tiempo va disminuyendo, a diferencia de la acidez que tiende a un aumento el cual es debido a la absorción de los ácidos producidos por la degradación microbiana de la pulpa (como se cita en Torres *et al.*, 2004). En el caso de los °Brix esta mezcla inicia con 0.60 °Brix y al paso de los días va aumentando hasta alcanzar su tope más alto al día 4 con 1.45 °Brix.

Para el caso de las pruebas químicas (Anexo k), los polifenoles totales en esta mezcla inician con 65.62 mg AG/ g cacao sin desengrasar, los cuales disminuyen casi un 60% hasta llegar al final de la fermentación. Similares resultados se encontraron en estudios realizados por Hensen (1998). El comportamiento del índice de fermentación fue en un aumento gradual donde para el día 7 finalizo en 1.43, siendo uno de los más altos alcanzados entre todas las mezclas evaluadas.

Figura 26. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 4 en el proceso de fermentación.



Fuente: Autor

6.3.5 Registro mezcla 5. Se usaron los clones ICS 39, ICS 01, CCN 51, TSH 565 y ICS95. La Figura 27 muestra el corte diario que se realizó hasta el día siete de fermentación.

Figura 27. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.



Día: 0



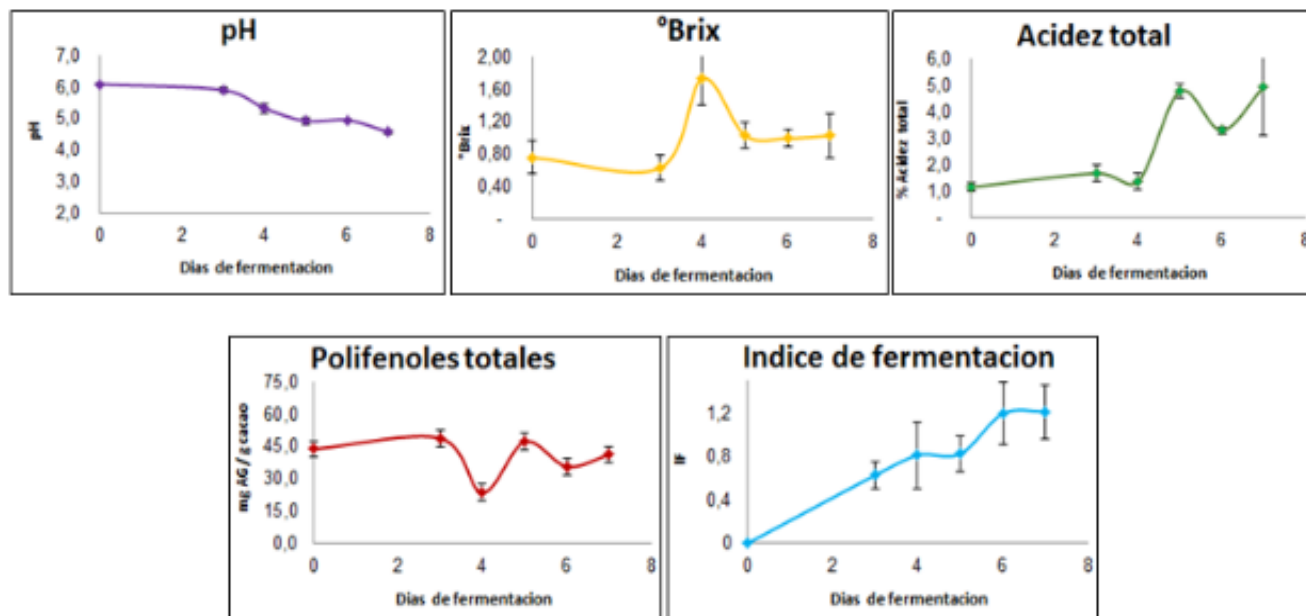
Día: 7

Fuente: Autor

Como se observa en la Figura 28 (Anexo J), para el pH y el % de acidez total a nivel del cotiledón en el proceso de fermentación se tuvo que los dos comenzaron en una disminución hasta el día 4 donde se presenta un incremento continuo del % de acidez total, siendo datos similares obtenidos por Portillo, Graziani, & Betancourt (2007). En la

evaluación y seguimiento de los °Brix para esta mezcla se obtuvo un valor a nivel de cotiledón final de 1.03.

Figura 28. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 5 en el proceso de fermentación.



Fuente: Autor

Para polifenoles totales (Anexo L) se presenta que la mezcla inicia con 35.56 mg AG/ g cacao sin desengrasar, el valor más bajo inicial entre todas las mezclas evaluadas, el cual tiene un comportamiento diferente a lo esperado ya que no se da la disminución de estos de manera gradual, una posible explicación es que faltó oxidación de los polifenoles que así mismo disminuyó la producción de taninos de alto peso molecular. (Pallares, Estupiñán, Villamil, López, 2016). A nivel del índice de fermentación se puede observar que la mezcla presenta un bajo valor al día 5, ya que se busca en este proceso unos valores ascendentes en su totalidad, al día 7 la mezcla alcanza un valor de 1.22.

6.3.6 Registro mezcla 6. Se realizó a partir de TSH 565, ICS 01 y ICS 95. En la Figura 30 se muestra el comportamiento de la mezcla durante siete días de fermentación, definidos por la prueba de corte (Figura 29).

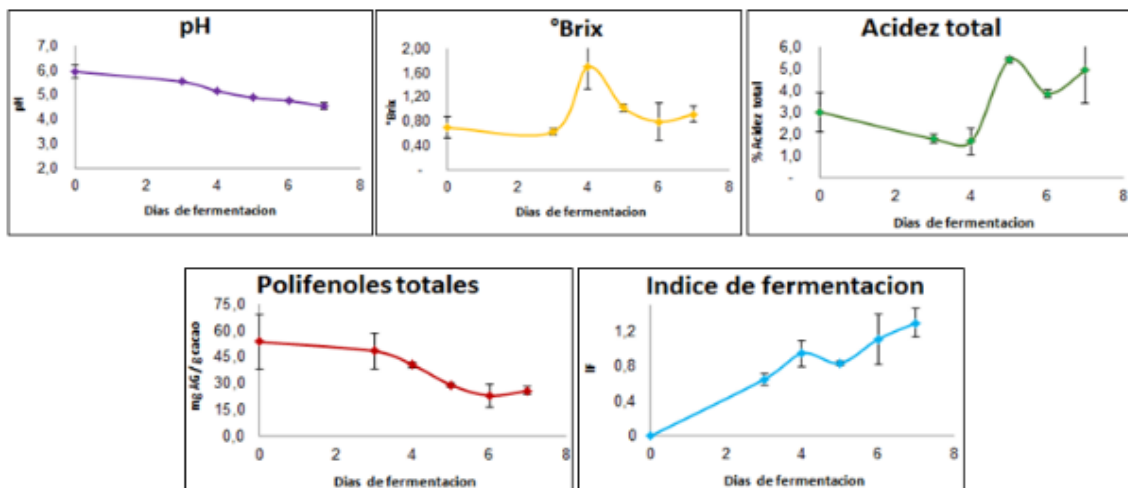
Figura 29. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.



Fuente: Autor

Se determinó en la mezcla 6 que el pH inicial (Anexo J) de esta fue de un valor de 5.95, y al paso de los días este descendió hasta finalizar en un valor de 4.55 a nivel del cotiledón. Para el seguimiento de grados °Brix se observó que se produce el mayor valor al día 4 con 1.70 °Brix, y un % de acidez total de 1.68% siendo el menor para este mismo día. Comportamientos similares fueron reportados por Pazmiño (2005).

Figura 30. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 6 en el proceso de fermentación.



Fuente: Autor

Para el caso del índice de fermentación (Anexo K) se presenta que hay un ascenso que es interrumpido en el días 5, debido a falta de homogeneidad a nivel de la masa de cacao en la fermentación, aun así este finaliza en un valor de 1.30. En polifenoles totales

se pudo evidenciar una disminución gradual e idónea ideal según lo reportado por Pallare *et al.* (2015) y Rivera *et al.* (2011).

6.3.7 Registro mezcla 7. En el proceso de fermentación se usaron dos clones de cacao el TSH 565 y ICS 39, los cuales tuvieron una duración de siete días, tiempo determinado a partir de la prueba de corte (Figura 31).

Figura 31. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.



Día: 0



Día: 7

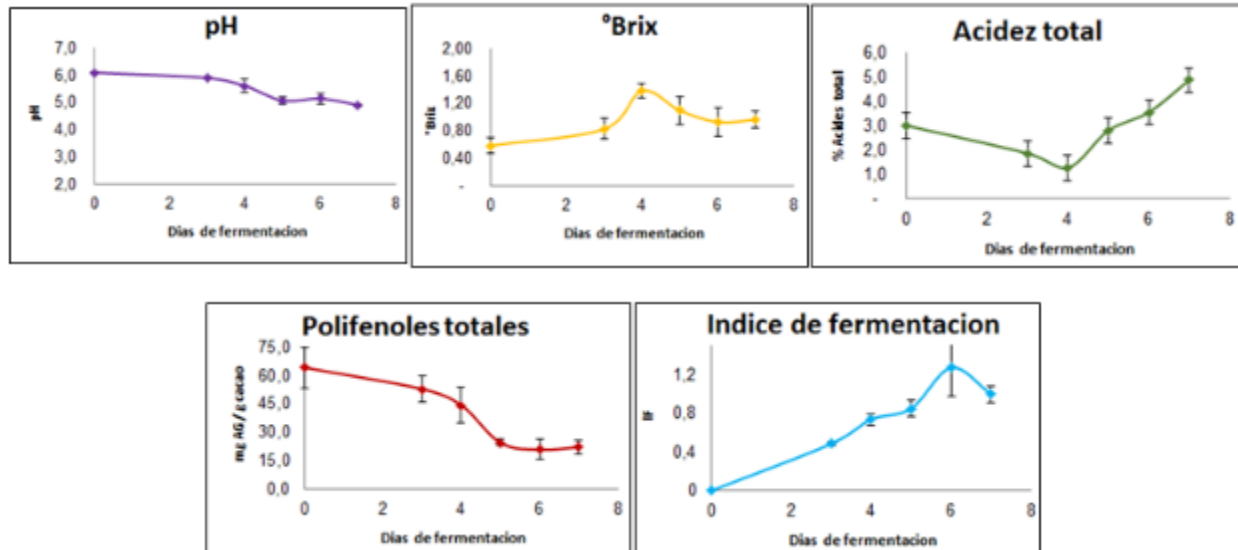
Fuente: Autor

Los valores de pH mostrados en la Figura 32 (Anexo J), durante la fermentación arrojaron que este proceso tuvo un pH inicial de 6.19 el cual disminuye de manera gradual hasta finalizar en un pH de 4.91 y una acidez similar para el mismo día. Esto puede ser debido a las variaciones en el pH del cacao fermentado a partir de diferentes factoras como, la pérdida de ácido cítrico, la migración de ácido láctico y acético producidos desde el exterior hacia el interior del grano, y la pérdida de ácido acético volátil (Caligiani *et al.*, 2016). Para el caso de los °Brix este proceso inicia con un grado de 0.59 °Brix a nivel del cotiledón siendo uno de los menores valores entre las mezclas evaluadas.

En términos del índice de fermentación (Anexo K), se tiene que este presenta el pico más alto al día 6 con un nivel de 1.27, esto puede indicar que quizás la fermentación no es del todo homogénea para esta mezcla. A nivel de polifenoles totales esta mezcla presento un 64.26 mg AG/ g cacao sin desengrasar inicial, el cual va de manera

descendente al paso de los días de fermentación finalizando al día 7 con un nivel de 28.13 mg AG/ g cacao sin desengrasar.

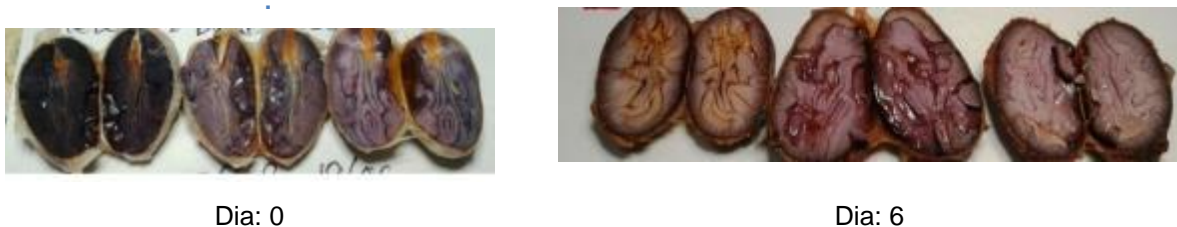
Figura 32. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 7 en el proceso de fermentación.



Fuente: Autor

6.3.8 Registro mezcla 8. Se fermentaron los clones ICS 01 y ICS 95 por un tiempo de cinco días, los cuales fueron determinados a partir de la prueba de corte (Figura 33), donde se puede evidenciar el agrietamiento y cambio de color característicos en la finalización de esta etapa.

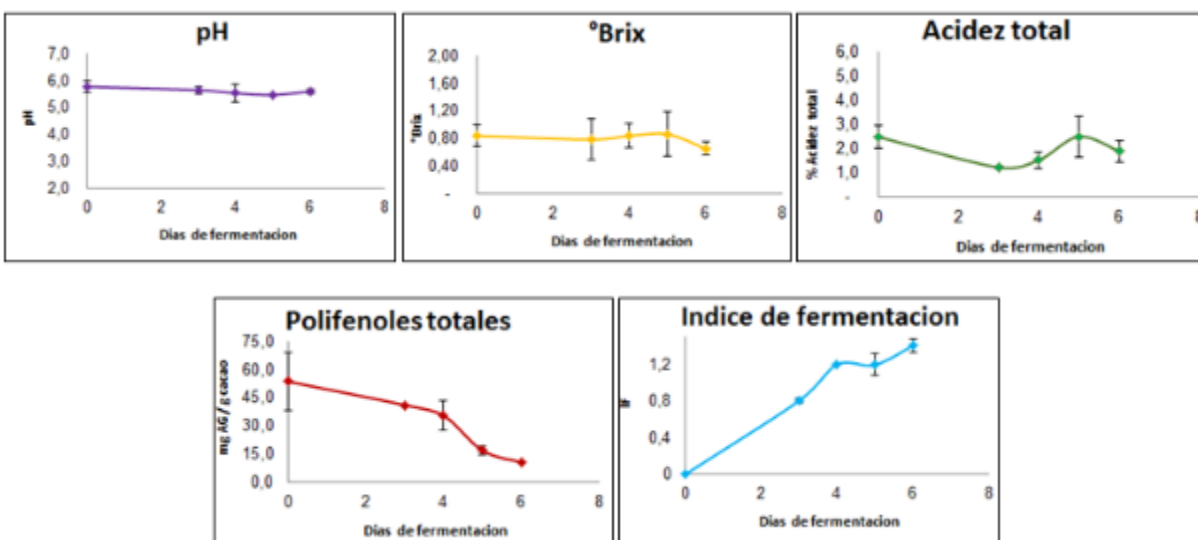
Figura 33. Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas



Fuente: Autor

El comportamiento que se dio a nivel de pH, °Brix y Acidez total (Anexo J) (Figura 34), muestra que el cotiledón tiene una mínima variabilidad al paso de los días en estas características en comparación con las otras mezclas, siendo que casi todas inician con los mismos valores de pH, °Brix y Acidez. Este comportamiento puede ser dependiente a la variedad genética, el lugar de origen y consorcio de microorganismos que participaron en la microfermentación (como se cita en Cardona, 2016)

Figura 34. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 8 en el proceso de fermentación.



Fuente: Autor

El comportamiento del índice de fermentación (Anexo K), muestra un aumento con una pequeña disminución al día 4. En el caso de los polifenoles totales evaluados en esta mezcla, se muestra que el proceso inicia con 47.29 mg AG/ g cacao sin desengrasar que disminuye constante hasta finalizar en 10.83 mg AG/ g cacao sin desengrasar.

6.3.9 Registro mezcla 9. Esta mezcla está compuesta de los clones TSH 565 Y CCN 51 a los cuales se les hizo un seguimiento físicoquímico por seis días, determinados a partir de la prueba de corta (Figura 35).

Figura 35..Prueba de corte diaria del cotiledón del cacao fermentado en tarrinas plásticas.



Día: 0

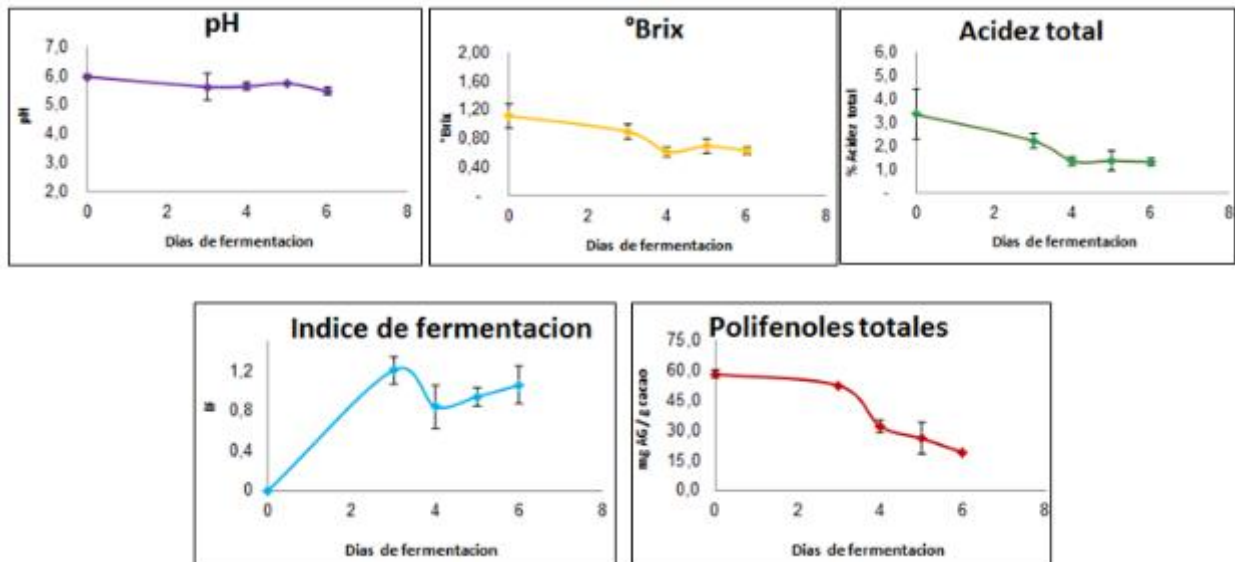


Día: 6

Fuente: Autor

Los valores tomados de pH Figura 36 (Anexo J), a nivel de cotiledón se comportan casi constantes durante el proceso hasta finalizar con un pH de 5.47. A nivel de °Brix y % de acidez total se tiene una disminución en especial para el día 4, siendo esto irregular según lo reportado por Pazmiño (2005) ya que se debería esperar un comportamiento directamente proporcional.

Figura 36. Seguimiento de parámetros físicos y químicos del cotiledón de la mezcla 9 en el proceso de fermentación.



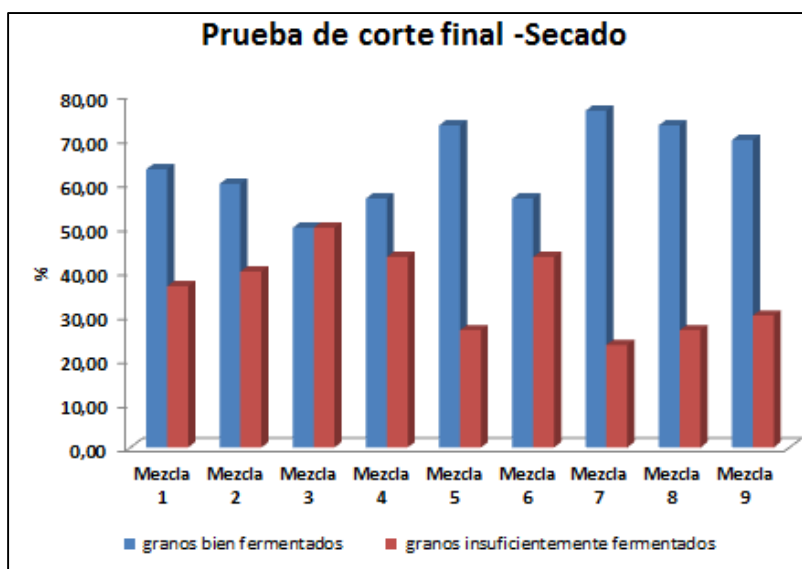
Fuente: Autor

A nivel del índice de fermentación (Anexo K), se presenta que el día 3 cuenta con el mayor valor con 1.21 siendo este bastante alto para este día de fermentación, posiblemente se presenta un proceso no homogéneo a nivel de la masa de cacao. En el caso de los polifenoles totales, se evidencia un claro descenso de los mismos iniciando con un nivel al día cero de 64.26 mg AG/ g cacao sin desengrasar, y el cual finaliza al día 6 en de 18.91 mg AG/ g cacao sin desengrasar.

6.3.10 Registro de prueba de corte final. En la Figura 37 (Anexo L) se observa que todas las mezclas superan el 50% de granos bien fermentados y que solo 3 mezclas no pasan el rango de clasificación de cacao pasilla, siendo un cacao con deficiente fermentación. Igualmente se obtuvo que 2 de las mezclas pasan a clasificación de cacao pasilla y 4 mezclas a cacao premio.

6.3.11

Figura 37. Evolución de la prueba de corte final del cotiledón de cacao fermentado en tarrinas plásticas para nueve clones.



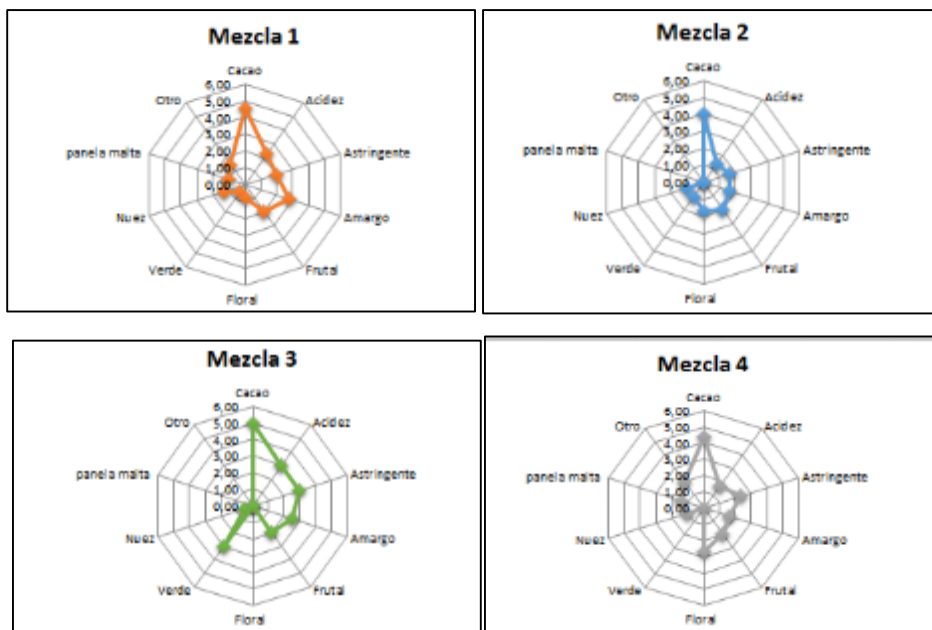
Fuente: Autor

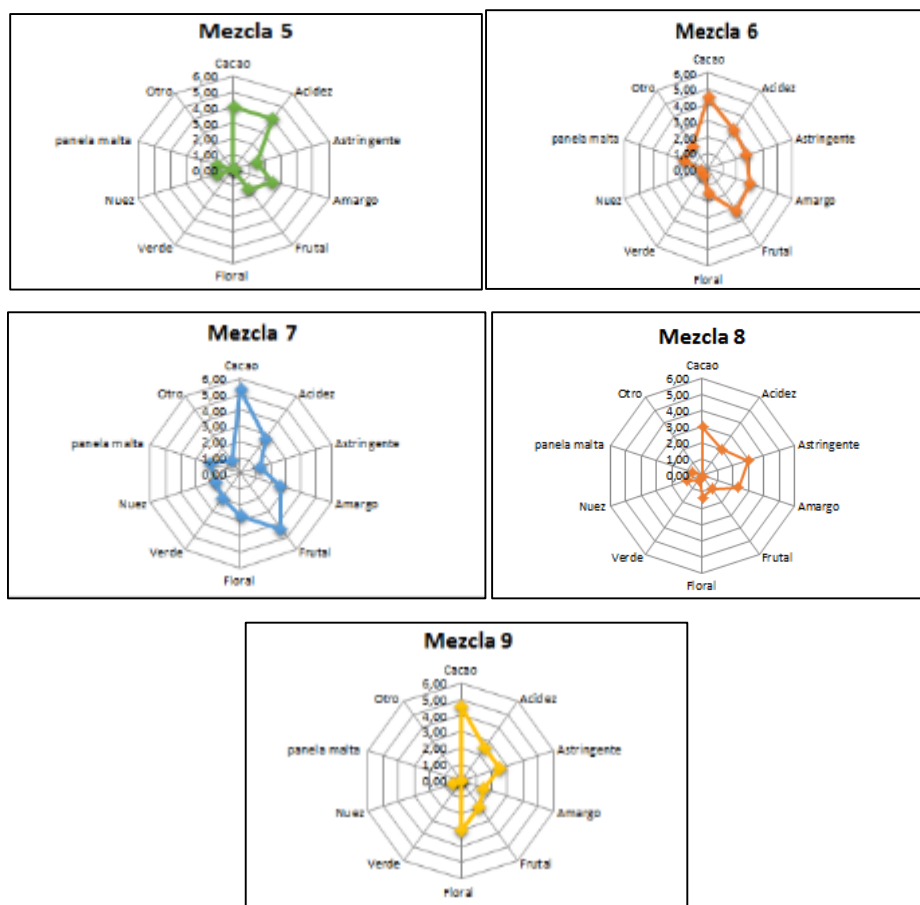
6.3.12 Análisis sensorial. La calidad del cacao actualmente tiene en cuenta muchos aspectos entre esos los organolépticos como sabor y aroma. La catación de los licores fue realizada por el panel sensorial de Corpoica sede Nataima, empleando una escala

de 0 a 10 con el fin de medir el contenido de intensidad de diferentes sabores y aromas en el cacao.

La mayor intensidad de amargor se detectó en la mezcla 1 con 2.75 y con menor valor fue la mezcla 9 con 1.50. Para la astringencia se tuvo que el mayor valor se dio en las mezclas 8 y 3 con un rango de 3.00 y el menor valor se dio en la mezcla 7 con 1.33, este último pudo tener un bajo porcentaje de astringencia debido al contenido de polifenoles ya que está directamente relacionado con este sabor (Bacelar *et al.*, 2013). Para sabores específicos como el de cacao, se obtuvo que la mezcla 6 presentó el rango más alto con 5.50, seguido por la mezcla 7 con un rango de 5.33. En sabores adquiridos se observó que la mezcla 3 obtuvo el mayor rango con 3.00 y la mezcla 4 fue la de menor rango sin ningún sabor adquirido, generalmente estos sabores defectuosos se dan debido a la falta de fermentación o falta de tostado del grano de cacao (Sánchez, 2007).

Figura 38. Perfil sensorial del cacao fermentado en tarrinas plásticas para nueve mezclas de cacao. (*Theobroma cacao* L.).





Fuente: Autor

Según el análisis de varianza y la prueba de Tukey se muestra diferencia significativa $P < 0.05$ entre las nueve mezclas evaluadas en las variables fisicoquímicas a nivel del cotiledón. Donde la mezcla 1 presenta mayor acidez al día 6 con 4.11%, índice de fermentación al día 5 de 1.21 y polifenoles totales de 43.74 mg AG/g cacao sin desengrasar. La mezcla 2 baja acidez al día 7 con 2.78%, índice de fermentación al día 3 de 0.42, polifenoles totales al día 4 de 23.98 mg AG/ g cacao sin desengrasar y alto pH al día 7 con un rango de 5.18. La mezcla 3 presento mayor acidez al día 5 con 6.54% y acidez al día 7 con 10.55%, °Brix al día 7 de 1.61, pH al día 0 de 6.32, polifenoles totales al día 0 de 67.61 mg AG/ g cacao sin desengrasar, y solo menor rango en polifenoles al día 5 con un valor de 16.66 mg AG/ g cacao sin desengrasar. La mezcla 4 muestra valores menores en polifenoles totales para el día 0 con 35.56 mg AG/ g cacao sin desengrasar, además presenta mayor rango a nivel acidez total del día 3 de 5.91%,

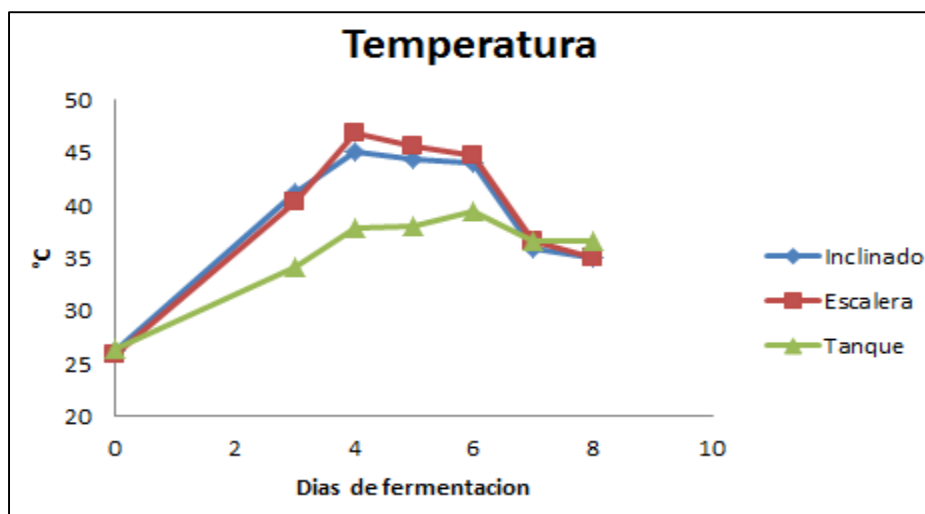
pH al día 3 de 5.91 y polifenoles totales al día 4 de 54.99 mg AG/ g cacao sin desengrasar.

6.4 EVALUACIÓN DE FERMENTADORES A ESCALA PILOTO EN LA CALIDAD FINAL DE UNA MEZCLA DE CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.).

Para esta etapa se trabajaron los clones ICS 39, CCN 51 y ICS 01 correspondiente a la mezcla 2, pues eran los disponibles en los meses de julio - agosto en el departamento del Huila.

6.4.1 Registro de temperatura en etapa de fermentación. De acuerdo a la prueba de Tukey se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) (Anexo T), en el día 3 de fermentación, debido a que el fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable, tuvo la menor temperatura para este día de 34,18°C y la mayor temperatura para el mismo día fue del fermentador cajón inclinado en policarbonato con 41.23°C. Para los días 4, 5, 6 y 7 se tiene que la diferencia significativa es entre el fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable y los fermentadores tipo cajón inclinado en policarbonato y escalera en madera ya que estos últimos mantienen mayores temperaturas en el transcurso del proceso.

Figura 39. Registro de temperatura de macrofermentaciones.



Fuente: Autor






















Como se muestra en la Figura 39, en el caso del fermentador de madera se tuvo la mayor temperatura al día 4 con 46.7°C. Para el fermentador tipo cajón inclinado en policarbonato se presentó la mayor temperatura al día 4 con 45°C. En el caso del fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable se presentó la mayor temperatura al día 6 con 39.3°C, lastimosamente este bajo registro de temperatura no es deseable en el proceso de fermentación ya que la muerte del embrión se produce a temperaturas de casi 45°C y el aumento de la misma es la responsable del inicio de reacciones enzimáticas en el cotiledón para el desarrollo de sabores y aromas (Braudeau, 1970). Según estudios realizados por otros autores se observa que la temperatura depende de los factores de cantidad de masa y frecuencia de giro, se han encontrado fermentadores rotatorios las temperaturas máximas pueden ser alcanzadas al día 6, mostrando que los otros dos fermentadores tuvieron una diferencia de dos días a nivel de inicio de reacciones enzimáticas (Cardona *et al.*, 2016).

6.4.2 Registro de prueba de corte diaria. Como se muestra en la Figura 21, en el día 0 se presenta el grano con característico color morado intenso, plano y compacto. Siguiendo el tiempo de fermentación se hace prueba de corte de nuevo a partir del día 3 de fermentación, ya que para este tiempo se comienzan otro tipo de reacciones entre ellas la generación de ácido láctico, causando agrietamiento que se ve más marcado para los fermentadores cajón inclinado en policarbonato y de tanque rotatorio en acero inoxidable.

Para el día 4 se comienza a dar en los granos del fermentador de madera un agrietamiento más tenue, además de lixiviado dentro del grano. Para el fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable y cajón inclinado en policarbonato se puede evidenciar que se presenta algunos granos compactos. En esta etapa se comienza a ver lixiviados internos ya que se ha dado el aumento de temperatura superior a 45°C permitiendo la entrada de los ácidos dentro del cotiledón (Beckett, 2009). Para el caso del día 5 se presenta un agrietamiento más marcado ya que para este tiempo el grano interiormente ya ha comenzado reacciones de oxidación y condensación que dan lugar a la formación de taninos que permiten que el grano empiece el cambio de color que se

puede evidenciar en casi todos los fermentadores excepto el tanque rotatorio en acero inoxidable el cual presenta aun granos de color oscuro y un poco compactos (CAOBISCO *et al*, 2015). Finalmente para el último día se obtuvo que el fermentador cajón inclinado en policarbonato presenta un grano bien arriñonado y de buen color al igual que el fermentador tipo madera, a diferencia del fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable, que muestra bajo lixiviado dentro del grano, color morado intenso y compactación del grano.

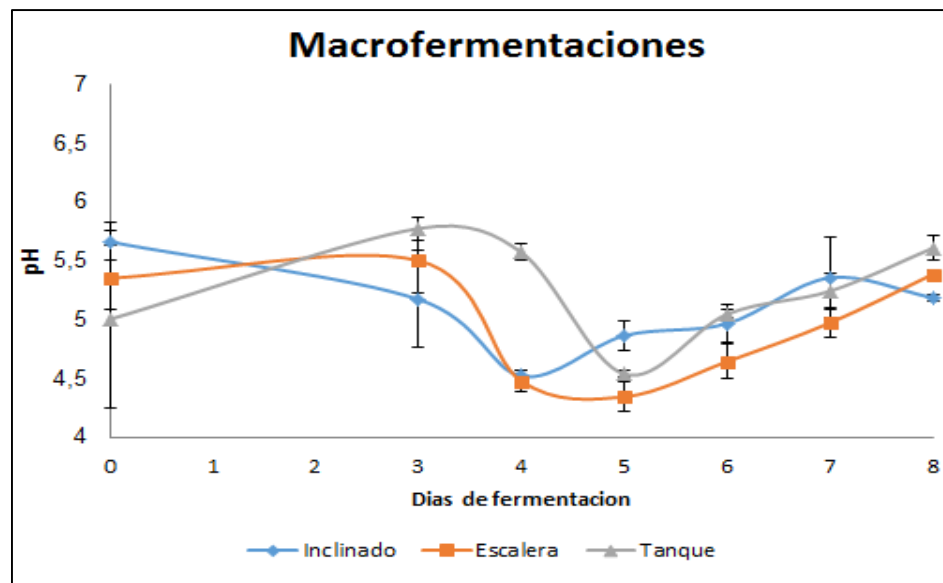
Figura 40. Prueba de corte diaria en fresco de macrofermentaciones.

Día de fermentación	Escalera en madera	Cajón inclinado en policarbonato	Tanque rotatorio en acero inoxidable
0			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Fuente: Autor

6.4.3 Registro de pH. Como se muestra en la Figura 40 se tienen que a nivel de pH cada fermentador tienen un comportamiento diferente, pero que al final para todos termina en un pH >5.0.

Figura 41. Evolución del pH del cotiledón de cacao fermentado en macrofermentadores.



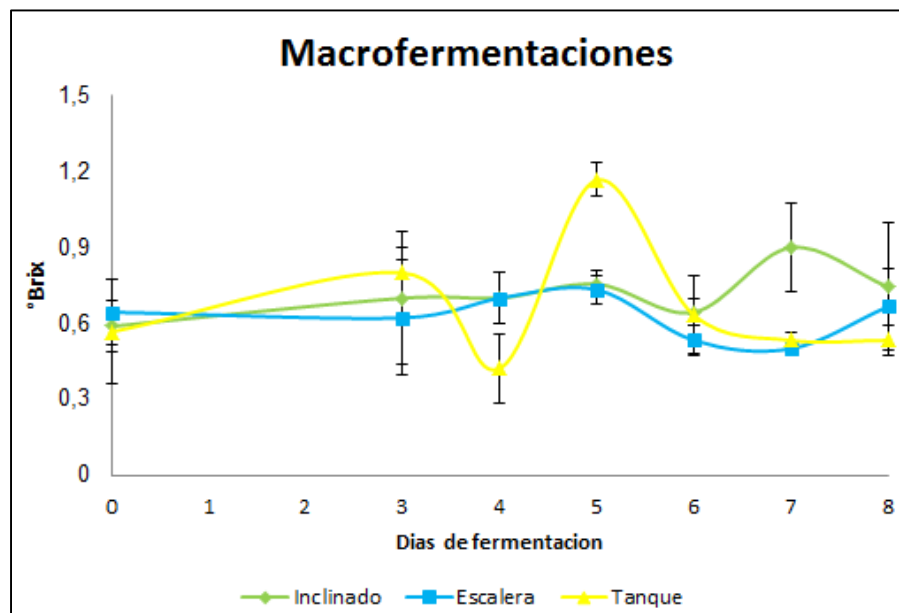
Fuente: Autor

El análisis de varianza (Anexo N), muestra diferencia significativa a nivel del cotiledón en el día 4, donde se presenta que el fermentador tipo escalera en madera tuvo el menor valor de pH para ese día, a diferencia del fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable que muestra un pH mayor de 5.57, esta tendencia de disminución a nivel del cotiledón al día 4 se encontró en la investigación hecha por Cardona *et al.* (2016) donde el fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable y madera en este día, presenta el menor valor de pH y su comportamiento interno es casi constante. Al día 5, el fermentador escalera en madera presenta el menor valor de pH y el mayor en el fermentador cajón inclinado en policarbonato. E el día 8, se presenta una diferencia significativa donde el cajón inclinado en policarbonato tiene el menor pH de 5.19 y el mayor el tanque rotatorio en acero inoxidable con 5.61.

A nivel de la testa + pulpa se presenta ($P < 0.05$) donde se presenta el menor valor en el fermentador tipo escalera en madera con 4.90, a diferencia del fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable con un mayor valor de 5.42. Estos mismos comportamientos fueron registrados por Teneda (2016).

6.4.4 Registro de °Brix. Los azúcares a nivel de mucilago son los primeros en ser usados en la fase de fermentación anaerobia la cual es transformada en alcohol y dióxido de carbono, los cuales están relacionados con el pH y temperatura (Teneda, 2016). Al paso del tiempo la sacarosa entra al cotiledón donde se desglosa en azúcar reductor por hidrólisis enzimática, dando paso la glucosa y fructuosa. (ADM cocoa & deZaan, 2013) Como se muestra en la Figura 41 se presenta variabilidad en el comportamiento entre los tres macrofermentadores, donde se puede hacer notorio que el fermentador de madera y tanque rotatorio en acero inoxidable se presenta el mayor valor de contenido de °Brix al día 5 seguido por una caída del mismo.

Figura 42. Evolución de los °Brix del cotiledón de cacao fermentado en macrofermentadores.

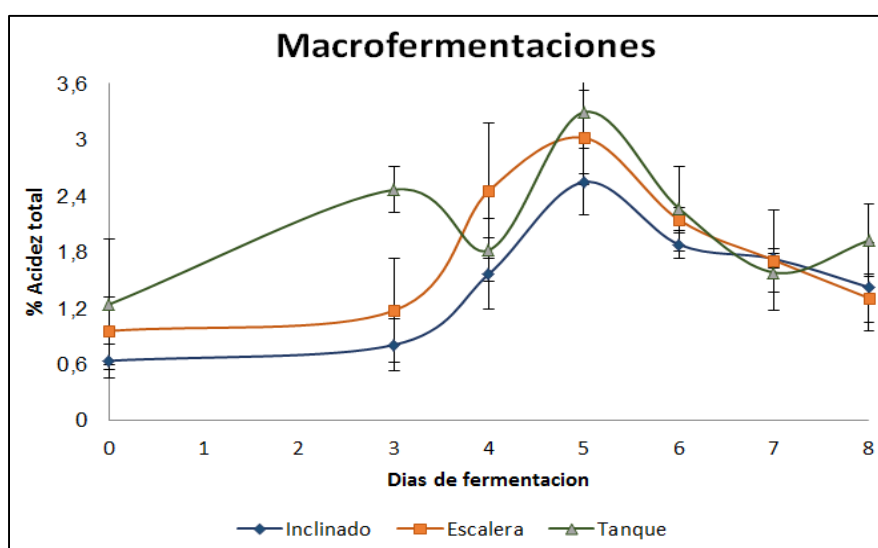


Fuente: Autor

En el análisis de varianza según Tukey (Anexo O), mostró diferencia significativa en el día 5 de fermentación, donde el fermentador tipo escalera en madera tuvo el menor valor, a diferencia del fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable que obtuvo el mayor valor con 1.17 °Brix. De igual manera se presentó diferencia a nivel del cotiledón del día 7 donde el fermentador tipo escalera en madera con valor de 0.50 y el mayor valor fue 0.90 °Brix en el fermentador cajón inclinado en policarbonato. A nivel de la pulpa + testa se tiene comportamientos diferentes en el día 4 y 5 donde para el primero el tanque rotatorio en acero inoxidable presenta el menor valor para este día con 0.29 °Brix y para el mayor valor se tiene el macrofermentador tipo escalera en madera con 0.60 °Brix, este último se encuentra el mismo valor el día anterior mostrando un comportamiento casi constante.

6.4.5 Registro de acidez total. Las velocidades de reacción se determinan a partir de la temperatura y el nivel de acidez. A temperaturas de 45°C se hace más favorable el crecimiento de bacterias claves para la formación de los precursores del sabor del chocolate, formadoras de ácido acético, oxidación de etanol y dióxido de carbono (Afoakwa, 2010).

Figura 43. Evolución del % de acidez total del cotiledón de cacao fermentado en macrofermentadores.

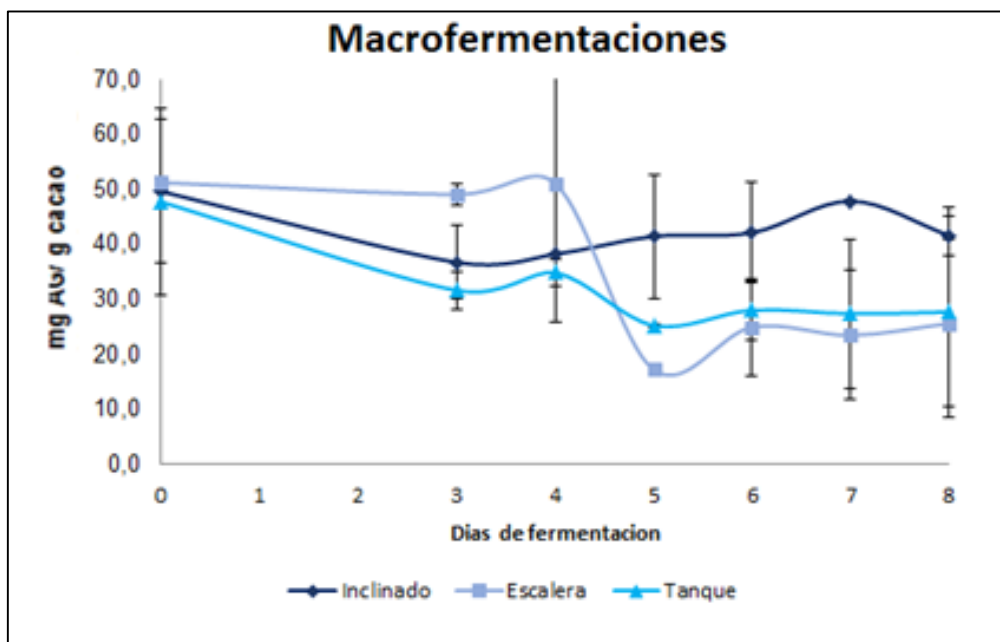


Fuente: Autor

Como se observa en la Figura 42 se da un inicio de acidez total al día cero (0.64-1.3%), la cual presenta para el fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable, una disminución en el día 4 del 26.01%. A nivel de los todos los fermentadores se tiene el mayor valor de acidez total al día 5. Esto puede ser debido a la entrada de ácidos al cotiledón, provenientes de toda la secuencia de transformación de azúcares, sin embargo el fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable, presenta un comportamiento directo entre acidez y los °Brix (Beckett, 2009).

6.4.6 Registro de polifenoles totales. Estos compuestos están correlacionados con los sabores de astringencia y amargor que contribuyen significativamente a los sabores verdes y afrutados de la masa fluida de cacao. Durante la fermentación, diferentes reacciones bioquímicas dan lugar a la difusión de los metabolitos dentro y fuera del cotiledón, permitiendo que los polifenoles se polaricen y reaccionen para formas complejos, disminuyendo la solubilidad de los polifenoles presentes dando paso a reacciones como el color (como se cita en Cardona *et al.*, 2016).

Figura 44. Evolución de polifenoles totales del cotiledón del cacao de una mezcla en macrofermentación.



Fuente: Autor.

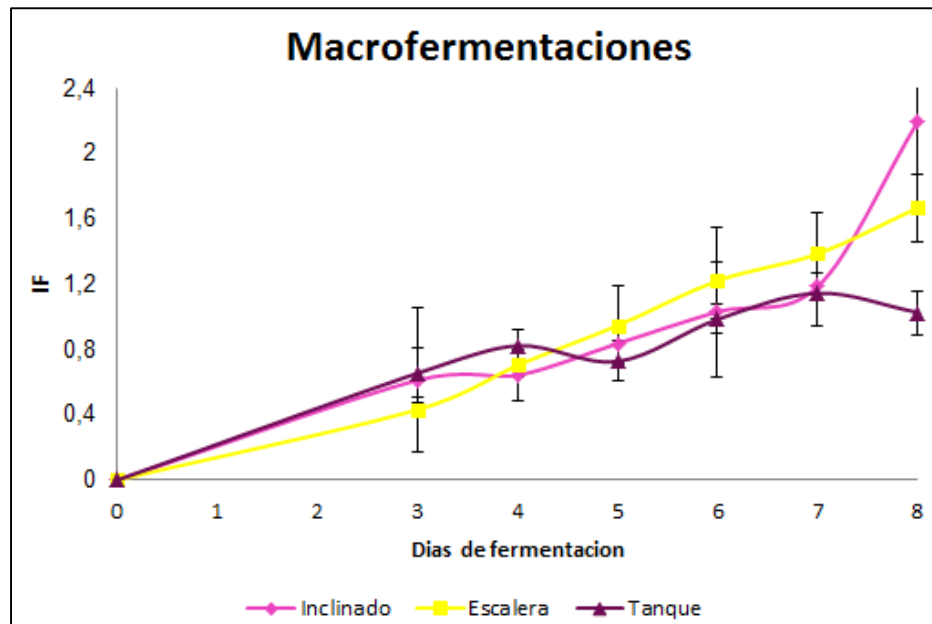
Como se muestra en la Figura 43 se puede observar que todos los fermentadores inician con similar contenido de polifenoles aproximado de 50.0 mg AG/g cacao sin desengrasar, el cual va descendiendo al paso del tiempo de fermentación. Donde el fermentador tipo madera presenta el menor valor al día 8 con casi un contenido de 30 mg AG/ g cacao sin desengrasar. Según Cardón *et al.* (2016) y Teneda (2016) muestran una reducción de los polifenoles casi que en un 20 a 22%, para el fermentador tipo cajón disminuye más el contenido de polifenoles en comparación con el rotatorio, notándose el mismo comportamiento en la fermentación en este estudio.

Según el análisis de varianza se encuentra que hay diferencia significativa (Anexo R), entre los fermentadores en el día 5 de fermentación donde el fermentador tipo escalera en madera tiene el menor valor con 17,25 mg AG/ g cacao sin desengrasar, en comparación con el fermentador tipo cajón inclinado en policarbonato con 41,52 mg AG/ g cacao sin desengrasar.

6.4.7 Registro de índice de fermentación. Este se determina como la medida indirecta para calificar el grado de fermentación de los granos de cacao. Los valores encontrados (Figura 44) nos permiten determinar en la que nivel se encuentra la fermentación al paso del tiempo, en base a una escala ya establecida en función de la experiencia/práctica. En esta prueba se observó que se tiene al día 6 los fermentadores tipo escalera en madera e cajón inclinado en policarbonato llegan a un valor mayor a 1, a diferencia del fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable que alcanza este valor hasta el día 7.

Teniendo en cuenta el análisis de varianza (Anexo Q), se presenta $P < 0.05$ en el día 8 de fermentación donde el fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable tienen un valor de 1.03 siendo el menor y el fermentador cajón inclinado en policarbonato 2.20 siendo el mayor para este día.

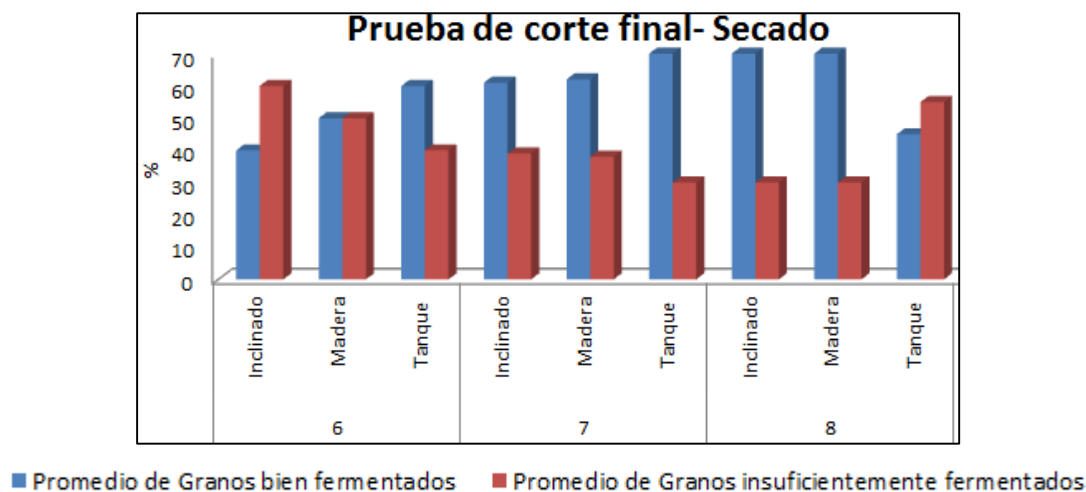
Figura 45. Evolución del índice de fermentación del cotiledón de cacao fermentado en macrofermentadores.



Fuente: Autor

6.4.8 Registro prueba de corte final. Los granos de cacao deben cumplir con diferentes criterios que permitan al comprador sentirse satisfecho. El cacao debe estar adecuadamente seco, libre de olores extraños, con un contenido deseable de granos grandes y completos, y sin tener un límite inferior de peso de grano a 1 (Cubillos *et al.*, 2008). Para los fermentadores tipo escalera en madera e cajón inclinado en policarbonato se tiene un valor idóneo de granos fermentados para el día 8 del 70% a diferencia del fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable el cual para este día tiene un 45% de granos bien fermentados.

Figura 46. Evolución de la prueba de corte final del cotiledón del cacao fermentado en macrofermentación.



Fuente: Autor

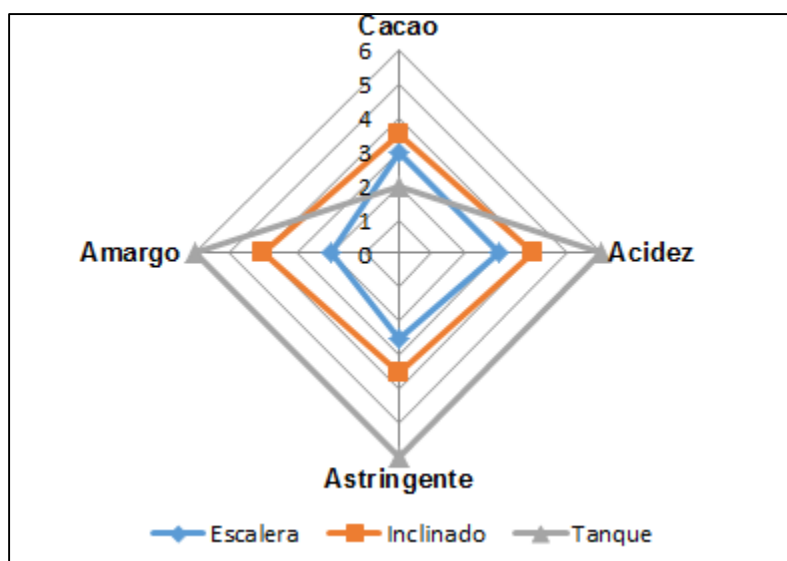
6.4.9 Análisis sensorial._ El muestreo sensorial al día 8 de fermentación (Anexo U), presentó que la masa de cacao para el caso de la macrofermentación tipo escalera en madera y para el de policarbonato día 8 presenta la mejor armonía entre sabores. (Figura 46).

Se puede evidenciar que la diferencia en todos los casos fue generada por el material del fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable el cual presentó un perfil sensorial donde los sabores amargo (6.0), astringente (6.0), verde (4.0), acidez (6.0) que son generados por fermentaciones insuficientes, además de opacar los sabores deseables como cacao (2.0), floral (1.0). Esta poca reducción de astringencia se ve afectada por polimerizaciones de flavonoides durante tratamientos alcalinos (ADM Cocoa Manual, 2006).

A diferencia del fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable, la masa fluida de cacao del fermentador tipo escalera en madera muestra un aroma agradable a cacao y dulce, además se destaca una menor cantidad de sabores como astringencia (2.5), amargo (2.0), verde (0.5) y un sabor mayor de cacao (3.0), floral (0.5), nuez (0.5), panela (0.5). Esta correlación de sabores negativos altos y positivos bajos, demuestra que existe

una relación inversa entre los atributos, indicando que la fermentación no fue la adecuada ya que no se desarrollaron todos los aromas y sabores característicos del mismo (Martínez, 2016).

Figura 47. Perfil sensorial del cacao fermentado en macrofermentaciones para una mezcla de cacao. (*Theobroma cacao* L.).



Fuente: Autor

Al final del proceso se obtuvo un rendimiento del 25.4% peso en seco para el fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable, de 29.6% fermentador tipo escalera en madera y 38.7% en el fermentador tipo cajón inclinado en policarbonato.

Se evidencio en el seguimiento en el tiempo de fermentación, que los fermentadores cajón inclinado en policarbonato y escalera en madera, tuvieron un comportamiento respecto a la temperatura similar, la cual aumentó debido al calor producido por las reacciones enzimáticas exotérmicas y la actividad microbiana, a partir de la oxidación del etanol a acetato y de la conversión del acetato a CO_2 y agua (como se cita en Torres *et al.*, 2004). A nivel de pH se encuentra diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tres fermentadores en el último día de fermentación, teniendo en cuenta que el fermentador tipo cajón inclinado en policarbonato presenta la mayor homogeneidad en esta variable con relación al tiempo de fermentación.

Finalmente se destaca que el fermentador tipo cajón inclinado en policarbonato mantiene una homogeneidad en el proceso de fermentación respecto al tiempo. A diferencia de la fermentación realizada en el tanque rotatorio en acero inoxidable la cual tuvo baja aireación por su sistema hermético, el cual hizo complicada la fase aerobia, necesaria para el aumento de temperatura e inicio de procesos químicos dentro del grano, dando como resultado granos insuficientemente fermentados y por consiguiente resultados de pH y la acidez titulable altos. Cabe mencionar que en el diseño de este fermentador se presentaron problemas de diseño, lo cual se observaba en que la masa presentaba una mayor exudación y aglomeración de los granos, por ende su mala calidad sensorial.

7 CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en la caracterización de los clones de cacao estudiados, se tiene que el clon CCN51 tiene el mayor rendimiento por fruto a nivel de pulpa + cotiledón (214.67 g). A nivel de índice de grano el clon ICS 39 está conformado por el grano más grande con 2.73 g. Para teobromina/cafeína se encontró que el clon CCN 51 está entre los rangos establecido para clon Trinario.

De los cinco clones evaluados a nivel de microfermentación individual según la NTC 1252 los clones TSH 565, CCN 51, ICS 39 y ICS 95 superan el 65% de granos bien fermentados clasificándolos en cacao premio, tan solo el clon ICS 01 se clasificó como cacao tipo corriente, esto pudo ser debido a su aumento en la acidez en los primeros días de fermentación.

Mediante la caracterización de las pruebas sensoriales se determinó que se dio gran presencia de sabores amargos y astringentes debido a problemas en el proceso de secado, por la alta acidez que se tuvo en la masa de licor. Aun así se encontraron atributos deseables como el sabores a cacao, floral, frutal y nuez. Cabe resaltar que ninguno de los clones registró sabores a moho u olor a jamón ahumado que son problemas de sobrefermentación.

De los resultados obtenidos en las microfermentaciones de las mezclas, se evidencio que las mezclas con un comportamiento deseable al transcurso de la fermentación están formadas por dos clones, las cuales alcanzaron un porcentaje de granos bien fermentados superior al 65% y a nivel sensorial alto sabor a cacao y presencia de sabores adquiridos tipo floral y frutal. La mezcla con todos los clones presentó alto porcentaje de granos bien fermentados sin embargo en las pruebas sensoriales fue de baja aceptación por el panel. Es de resaltar la disminución de sabores como astringencia y amargor en la masa de cacao de las mezclas en comparación a las masa de cacao de las microfermentaciones individuales.

Los resultados obtenidos del seguimiento de las condiciones de fermentación a nivel piloto (macrofermentaciones) permiten determinar que los fermentadores escalera en madera y cajón inclinado en policarbonato superaron la temperatura necesaria para la muerte del embrión e inicio de las reacciones enzimáticas de 45 °C. Lo anterior se ve corroborado por la prueba de corte según la NTC 1252, donde se observa que en el día 8 llegan a un 70% de granos bien fermentados ubicándolos en cacao premio, sin presencia de granos mohosos, germinados o pizarrosos. A nivel de la prueba sensorial se demostró que los fermentadores escalera en madera y cajón inclinado tienen un buen perfil sensorial, aunque se presenta una mayor concentración de sabor de cacao para el fermentador de madera al día 6, y para el fermentador cajón inclinado en policarbonato al día 7, se establece una armonía entre los sabores de ácido, amargo y astringente, permitiendo sentir otros sabores deseables.

Para el fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable tiene problemas en la fermentación debido a humedad excesiva y retención de lixiviados en el mismo, por problemas de diseño, haciéndose necesario hacer unos ajustes a nivel de la rejilla del fermentador, la determinación de la velocidad más adecuada para la remoción, la inserción de un sistema que ayude a la remoción a nivel interno rompiendo las aglomeraciones provocadas y una ventanilla de aireación a nivel del tanque rotatorio en acero inoxidable para los días aerobios.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar evaluaciones en el prototipo cajón inclinado en policarbonato, con posibles mejoras en el sistema hermético para la fase anaerobia, ya que este presenta una mejor inocuidad y su costo en comparación de acero inoxidable.
- ✓ Se recomienda la mejora del diseño del fermentador tipo tanque rotatorio en acero inoxidable con el fin de dar mejor solución a los problemas de humedad, temperatura y agrupamiento de semillas que se presentan en el mismo.
- ✓ Probar diferentes materiales de fabricación en el diseño de fermentador tipo escalera y cajón inclinado.
- ✓ Realizar estudios sobre la relación entre estudios de polinización cruzada y como esta influye para el beneficio del cacao.
- ✓ Realizar un seguimiento microbiológico con el fin de verificar que mejora en la inocuidad se da a nivel de los fermentadores.

REFERENCIAS

- ADM Cocoa. (2006). The De ZaanR Cocoa Manual. The Netherlands: Archer Daniels Midland Company BV.
- ADM cocoa & deZaan. (2013). Cocoa & Chocolate Manual. (171pp). Suiza: ADM cocoa.
- Afoakwa, E. (2010). Chocolate Science and Technology. (1°ed). Ghana: Wiley-Blackwell.
- Álvarez, C.; Tovar, L.; Morillo, F.; Sánchez, P.; Grion, C. & De Farías, A. (2010). Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*) usando dos tipos de fermentadores. *Revista científica UDO Agrícola*, 10 (1), 76-87.
- Amores, F.; Palacios, A.; Jiménez, J. & Zhang, D. (2009). Entorno ambiental, genética, atributos de calidad y singularización del Cacao en el nororiente de la provincia de Esmeralda. *Boletín Técnico N° 135*. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- Anónimo. (2015). Mercado mundial del cacao. Recuperado de <http://www.unitedcacao.com/index.php/es/corporate-profile-es/global-cocoa-market-es>.
- Anónimo. (2009). Cocoa processing Methods for the production of high quality cocoa in Vietnam. Vietnam: AusAID and the Vietnam Ministry of Agriculture and Rural Development.
- Aránzazu Hernández, F.; Martínez Guerrero, N.; Valencia Calderón, G.; Coronado, R. & Rincón Guarín, D. (2009). Manejo del recurso genético para incrementar la producción y productividad del sistema de cacao en Colombia. Fedecacao - Corpoica.p123.
- Aránzazu, F.; Martínez, N.; Rincón, D. & Palencia, G. (2009). Materiales de cacao en Colombia, su compatibilidad sexual y modelos de siembra. Unión Temporal cacao en Colombia Uno. Fedecacao - Corpoica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. p22.
- Ávila, A., Campos, M., Guharay, F., & Camacho, A. (2013). Aprendiendo e innovando sobre la cosecha, fermentación y secado del cacao. *Guía 8*. Lutheran World Relief.
- Bacelar, P.; Silva, E. & Radomille, L. (2013). Sensory profiles of chocolates produced from cocoa cultivars resistant to *Moniliophthora perniciosa*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Vol35. no. 2, 594-602. Jaboticabal.

- Beckett, S. (2009). Industrial chocolate manufacture and use. (4^{ed}). UK: Blackwell Publishing.
- Bertazzo, A.; Comai, S.; Brunato, I.; Zancato, M. & Costa, C. (2011). The content of protein and non-protein (free and protein-bound) tryptophan in *Theobroma cacao* beans. *FOOD chemistry*, 124(1), 93-96.
- Biehl, B.; Heinrichs, J.; Voigt, G.; Bytof, G. & Serrano, P. (1996). Nature of proteases and their action on storage proteins in cocoa seeds during germination as compared with fermentation. *In 12th Cocoa Research Conference*, Salvador.
- Bittenbender, H. C. & Kling, E. (2009). Making chocolate from scratch. *Food Safety and Technology*, FST 33, 1-5.
- Braudeau, J. (1970). El Cacao. Técnicas agrícolas y productores tropicales. Barcelona, España.p304.
- Caligiabi, A.; Marseglia, A.; Prandi, B.; Palla, G. & Sforza, S. (2016). Influence of fermentation level and geographical origin on cocoa bean oligopeptide pattern. *FOOD Chemistry*, Vol. 211, 431-439.
- Cardona, L. (2016). *Influencia del proceso de fermentación sobre las características de calidad del grano de cacao (Theobroma cacao)*. (Tesis Magister). Facultad de ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería agrícola y Alimentos, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Chocolate, Biscuits & Confectionery of Europe, (CAOBISCO). European Cocoa Association, (ECA). & Federation of cocoa commerce (FCC). (2015). Cacao en Grano : Requisitos de Calidad de la Industria del Chocolate y del Cacao. Europa: M. J. End & R. Dand, Eds.
- Contreras, C.; Ortiz, L.; Graziani, L. & Parra, P. (2004). Fermentadores para cacao usados por los productores de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía Tropical. Pg. 54(2)*, 219-232.
- Cubillos, G.; Merizalde, G. & Correa, E. (2008). Manual de beneficio del cacao 2008 para: técnicos, profesionales del sector agropecuario y productores. Medellín, Colombia.
- Cros, E.; Jeanjean, N. & Tontillon, J. (1997). Formation de l'arôme cacao. Cacao at chocolat production, utilisation caractéristiques. *Collection sciences et techniques agro-alimentaires*. 187-206.

- Dostert, N.; Roque, J.; Cano, A.; La Torre, M. & Weigend, M. (2012). Hoja botánica: Cacao. (*Theobroma cacao* L.). (1°ed). Lima, Perú.
- Dubon, A. (2016). Diez consejos para lograr cacao de calidad. (2°ed). Lima, cortes, Honduras: Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA
- Espin, S. & Samaniego, I. (2006). Parámetros químicos de calidad en almendras y licor del cacao. Departamento de Nutrición y Calidad, INIAP.
- FAO. (2004). Perspectiva a plazo medio de los productos básicos agrícolas: proyecciones al año 2010. Roma: organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación
- FAO. (s.f). Las abejas son los diligentes polinizadores de las frutas y cultivos. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/008/y5110s/y5110s03.htm>.
- Fedecacao. (2011). Cacao Colombiano se consolida como uno de los más finos del mundo. Federación nacional de cacaoteros. Bogotá D.C: Industrias Graficas E.U.
- Fedecacao. (2017). Federación nacional de cacaoteros. Estadísticas del sector cacaotero. Recuperado de <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales>.
- Fedecacao. (s.f). Beneficio y Características físicas y químicas del cacao (*Theobroma cacao* L.). Federación nacional de cacaoteros. Bogotá D.C: Produmedios.
- Fedecacao. (2005). Caracterización fisicoquímica y beneficio del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) Federación nacional de cacaoteros. Bogotá D.C.
- Forsyth, W. & Quesnel, V. (1963). The mechanism of cacao curing. *Advances in enzymology and related areas of molecular biology*, 25, 457-492.
- Gray, P. (2015). A world cocoa shortage. That is bitter news for chocolate lovers. DataHero. Recuperado de: <https://datahero.com/blog/2015/03/24/a-world-cocoa-shortage-thats-bitter-news-for-chocolate-lovers/>.
- González Muñoz, Y.; Pérez Sira, E. & Palomino Camargo, C. (2012). Factores que inciden en la calidad sensorial del chocolate. *Nutrición*, Vol.13 (4), 314-331.
- Hardy, F. (1961). Manual de cacao. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba. Costa Rica.
- Hasing, M. (2004). *Estudio de la variación en los contenidos de polifenoles y alcaloides, en almendras de cacao por efecto de los procesos de fermentación y tostado*. (Tesis

- Doctoral). Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Helfenberger, A. (1964). Una serie de experimentos sobre la cura del cacao en pequeña escala. Vol. IX, No.1. Costa rica: Centro InterAmericano del cacao.
- Hernández, E. (2005). Evaluación sensorial. *Universidad Abierta y a Distancia UNAD*. Bogotá .D.C.
- Herrera, Y. & Cadena, T. (2008). *Evaluación del efecto del procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su actividad antioxidante*. (Tesis Pregrado). Facultad de Ciencias, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- IICA. (2006). *Protocolo estandarizado de oferta tecnológica para el cultivo del cacao en el Perú*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Lima. Perú.
- ICCO (2017) International Cocoa Organization. Growing Cocoa. Cacao statistics database worldwide. Recuperado de: <https://www.icco.org/statistics/production-and-grindings/production.html>.
- ICONTEC. (2003). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Cacao en grano. NTC 1252, 3ªed, p12. Bogotá, D.C.
- Kealey, KS.; Snyder, RM.; Romanczyk, LJ.; Geyer, HM.; Myers, ME. & Withcare, EJ. (1998). Cocoa components, edible products having enhanced polyphenol content, methods of making same and medical uses. USA: Mars Incorporated.
- Gobernación del Huila, secretaria de Agricultura y Minería. (2015). La cadena del Cacao en el Huila. Huila: Nexura.
- López, R. (2016). *Desarrollo de un modelo matemático para la fermentación del cacao criollo blanco*. (Tesis Magister), Facultad de ingeniería: Universidad de Pirua, Lima.
- MADR. (2005). La cadena del cacao en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. no. 58. Bogota D.C.
- Maisincho, P. (2006). *Fermentación de cacao (teobroma cacao) variedad CCN-51 inoculando Acetobacter*. (Tesis Pregrado). Facultad de ciencias e ingeniería en alimentos, Universidad técnica de Ambato, Ecuador.
- Martínez, N. (2015). Avances en investigación. Federación Nacional de Cacaoteros. Arauca.

- Martínez, N. (2016). *Evaluación de componentes físicos, químicos, organolépticos y del rendimiento de clones universales y regionales de cacao (Theobroma cacao L.) en las zonas productoras de Santander, Arauca y Huila*. (Tesis Magister). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- Martínez, W. (2007). Caracterización morfológica y molecular del Cacao Nacional Boliviano y de selecciones elites del Alto Beni, Bolivia. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba. Costa Rica.
- Mermet, G. (1989). *Cacao: influence des paramètres de torréfaction sur la consommation des précurseurs d'arôme et la formation de quelques composés volatils*. (Tesis Doctoral), Universidad Montpellier II, Montpellier, Francia.
- Medina, J.; Vargas, A. & Ángel, O. (2013). CACAO: operaciones postcosecha. México: FAO.
- Mojica, A. & Paredes, J. (2006). Características del Cultivo de Cacao en Santander. Ensayos sobre Economía Regional. Bogotá: Banco de la República.
- Morales, O. (2017). Cartilla técnica: cosecha y postcosecha del cacao. Nicaragua: Primer tiraje 500 ejemplares.
- Nieves, B. (1981) Beneficio del cacao. ICA. Santafé de Bogotá. Pg. 179-176.
- Nogales, J.; Graziani, L. & Ortiz, L. (2006). Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera. *Agronomía Trop*, 56 (1), 5-20.
- Ogata, N. (2007). El cacao. *Biodiversitas*, 72,1-5.
- Ortiz de Bertorelli, L.; Graziani de Fariñas, L. & Rovedas, G. (2009). Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. *Agronomía Tropical*, 59(2), 119-127.
- Pallares, A.; Estupiñán, M.; Perea Villamil, J. & López Giraldo, L. (2016). Impacto de la fermentación y secado sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante del clon de cacao CCN-51. *Revista ION*, 29 (2), 7-21. Bucaramanga, Colombia.
- Paredes, M. (2003). Manual de cultivo del cacao. Perú: Ministerio de agricultura. Programa para el desarrollo de la amazonia pro amazonia. Perú.
- Pazmiño, K. (2005). *Estudio del comportamiento de fructuosa, glucosa y sacarosa en almendras de cacao de producción Nacional durante la fermentación*. (Tesis

- Doctoral). Facultad de ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.
- Philips, W.; Arciniegas, A. & Mata Quirós, A. (2012). Catálogo de clones de cacao. Costa Rica: Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Pineda, R.; Chica, M.; Echverry, L.; Ortiz, A.; Olarte, H. & Ria, N. (2012). Influencia de la fermentación y el secado al sol sobre las características del grano de cacao TSH 565 e ICS 60. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, vol. 19, S288-S290.
- Portillo, E.; Graziani de Fariñas, L. & Betancourt, E. (2007). Análisis Químico del Cacao Criollo Porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el Sur del Lago de Maracaibo. *Revista Fac. Afron*, Vol.24, no 3, 522-546. Venezuela.
- Portillo, E.; Labarca, M.; Grazziani, L.; Cros, E., Assemat, S.; Davrieux, F. & Marcano, M. (2009). Formación del aroma del cacao Criollo (*Theobroma cacao* L.) en función del tratamiento postcosecha en Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2), 458-468.
- Quintana, L.; F., Gómez. S. C.; García, A. J. & Martínez, N. (2015). Perfil sensorial del Clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 (primera cosecha de 2015). *@limentech ciencia y tecnología alimentaria*, vol. 13, no. 1, 60-65.
- Quintero, M. & Díaz, K. (2004). El Mercado mundial del cacao. Universidad de los Andes. *Revista Agroalim*, vol.9, n.18, pp. 47-59.
- Recalde, S. (2007). *Evaluación del efecto del presecado y tiempo de fermentación, en los contenidos de polifenoles totales, Alcaloides y ácidos volátiles en dos genotipos de cacao*. (Tesis Doctoral). Facultad de Ciencias Químicas, Universidad central del Ecuador. Ecuador.
- Reyes, H.; Vivas, J. & Romero, A. (s.f). *La calidad del cacao: II cosecha y fermentación*. Fondo nacional del cacao (FONAIAP). Caracas.
- Rivera, R.; Mecías Gallo, M.; Guzmán Cedeño, G.; Mercedes Peña, M.; Medina Quinteros, H.; Casanova Ferrín, M.; Barrera Álvarez, A. & Nivela Morante, P. (2012). Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (*Theobroma cacao* L.) *Ciencia y Tecnología*, 5(1), 7-12.

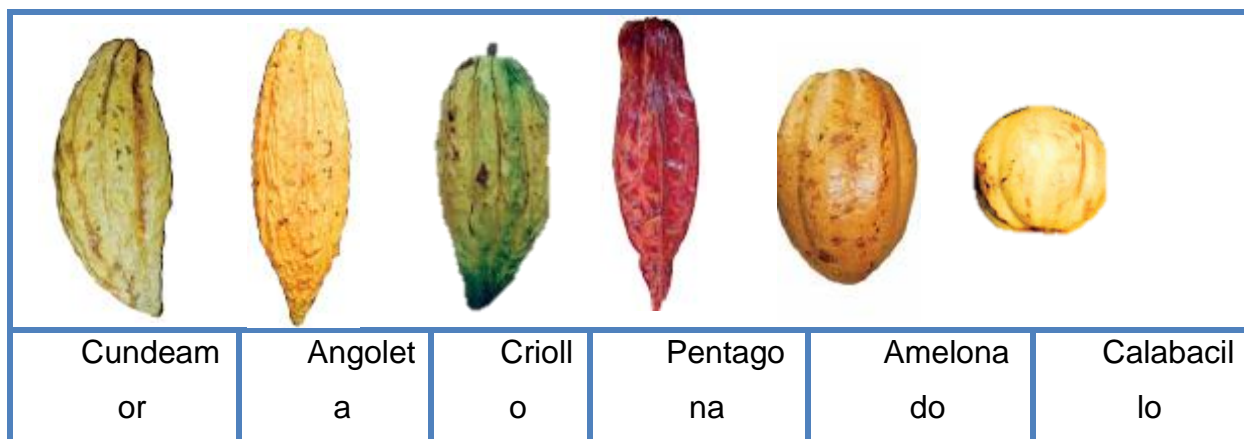
- Rojas, F. & Sacristán, E. (2013). Guía ambiental para el cultivo del cacao (2°ed). Ministerio de agricultura y Desarrollo Rural, Federación Nacional de Cacaoteros. Bogotá D.C.
- Sanchez, A. (2007). *Caracterización organoléptica del cacao (Theobroma Cacao L.), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial*. (Tesis pregrado). Facultad de ciencias agrarias, Universidad Técnica estatal de Quevedo. Ecuador.
- Seguines, E.; Mills, D.; Marelli, J.; Motamayor, J. & Da Silva Coelho, S. (2011). Micro-fermentation of cocoa. *Revista U.S.S.N.* 61(1), 148-523.
- Stevenson, C.; Corven, J. & Villanueva, G. (1993). Manual Para Análisis De Cacao En Laboratorio: IICA. p68.
- Superintendencia Industria y Comercio. (2009). Cadena productiva del cacao: Diagnostico de libre competencia. Plan Nacional Gubernamental. Colombia.
- Teneda, W. (2016). Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao (*Theobroma cacao L.*) Variedad Nacional y variedad CCN 51. España: Universidad Internacional de Andalucía.
- Torres, O.; Graziani, L.; Ortiz de Bertorelli, L. & Trujillo, A. (2004). Efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane de la mazorca tipo forastero de CUYAGUA sobre características del grano en fermentación. *Revista Agronomía Trop*, 54(4), 481-495. Aragua, Venezuela.
- Valenzuela, A. (2007). El chocolate, un placer saludable. Chocolate, A Healthy Pleasure. Laboratorio de Lípidos y Antioxidantes. *Revista Chilena de nutrición*, Vol.34, no.3, 180-190.
- Vos, G.M.; Ritchie, B.J. & Flood, J. (2003). An inspirational guide for training facilitators. Discovery learning about cocoa. (1°ed). UK: Cabi bioscience.
- Zapata, S., Tamayo, A. & Rojano, BA. (2013). Efecto de la fermentación sobre la actividad antioxidante de diferentes clones de cacao Colombiano. *Revista Cubana Plant Med*, vol.18, no.3, 91-404. Medellín, Colombia.

ANEXOS

Anexo A. Parámetros para la caracterización morfológica del fruto de cacao (*Theobroma Cacao* L.).

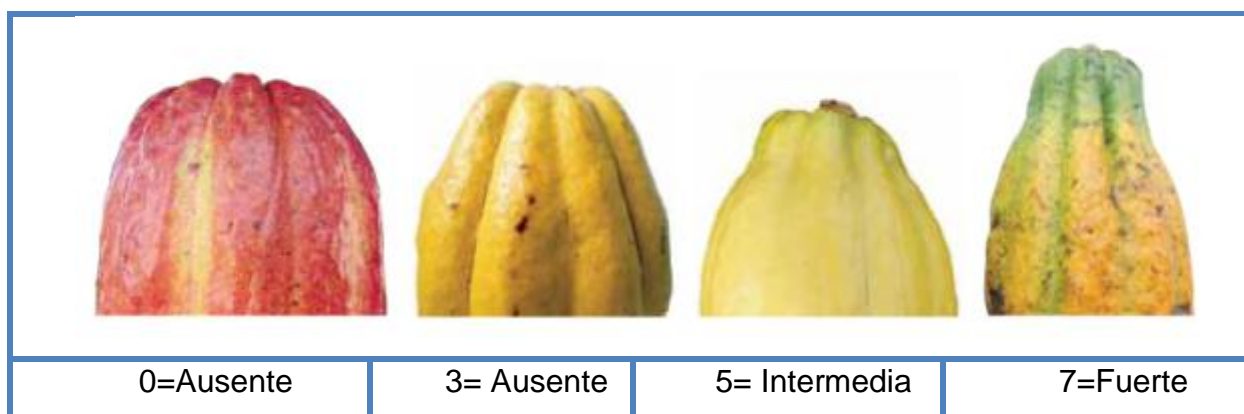
Descriptores cualitativos

- Forma del fruto**



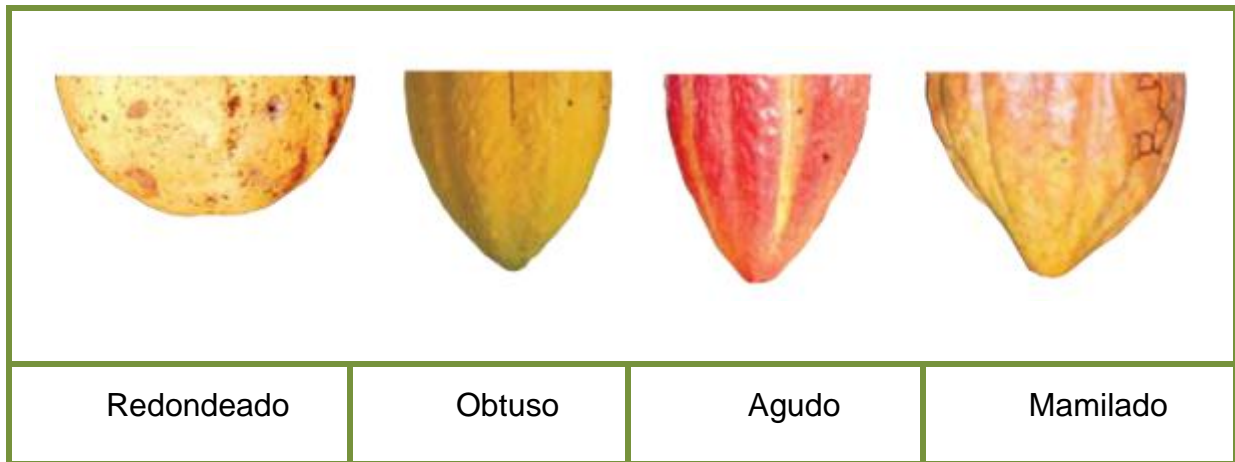
Fuente: Autor adaptado de (Phillips Mora, Arciniega Leal & Mata Quirós, 2012)

- Forma de la constricción basal**



Fuente: Autor adaptado de (Phillips Mora, Arciniega Leal & Mata Quirós, 2012)

- **Forma del ápice**

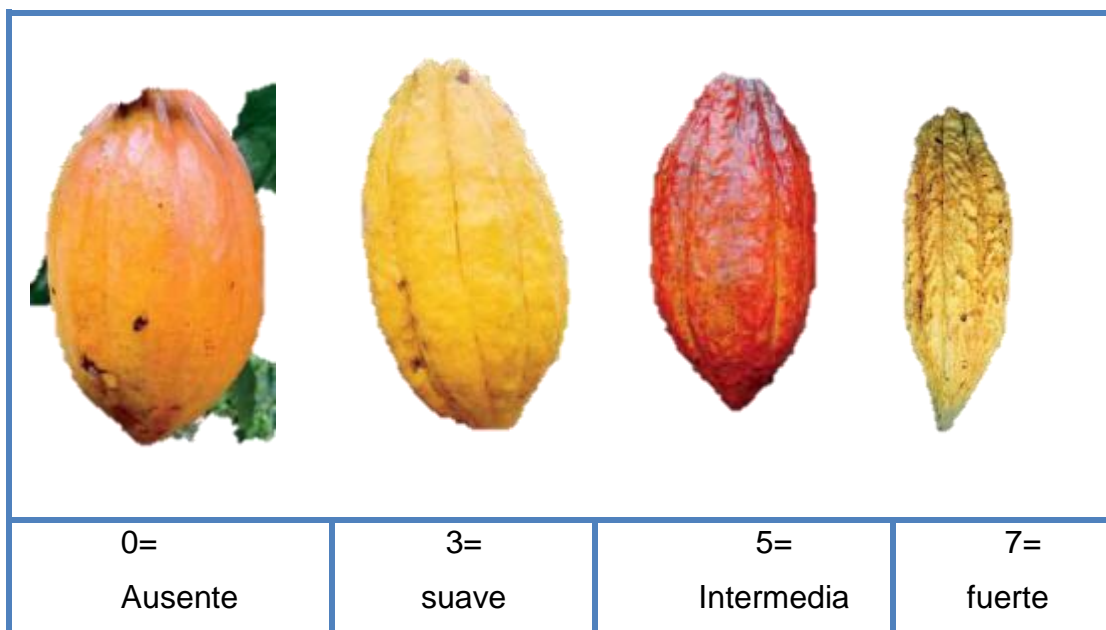


Fuente: Autor adaptado de (Phillips Mora, Arciniega Leal & Mata Quirós, 2012)



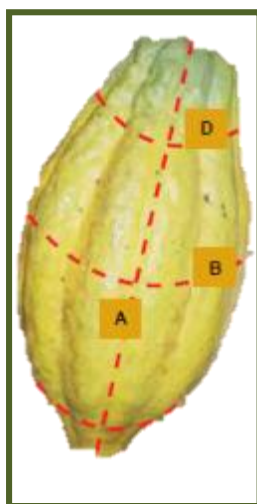
Fuente: Autor adaptado de (Phillips Mora, Arciniega Leal & Mata Quirós, 2012)

- **Rugosidad**



Fuente: Autor adaptado de (Phillips Mora, Arciniega Leal & Mata Quirós, 2012)

- **Otros descriptores**



A: Longitud del fruto (cm).
B. Diámetro del fruto (cm).
D. Constricción basal.

Phillips Mora, Arciniega Leal & Mata Quirós, 2012)



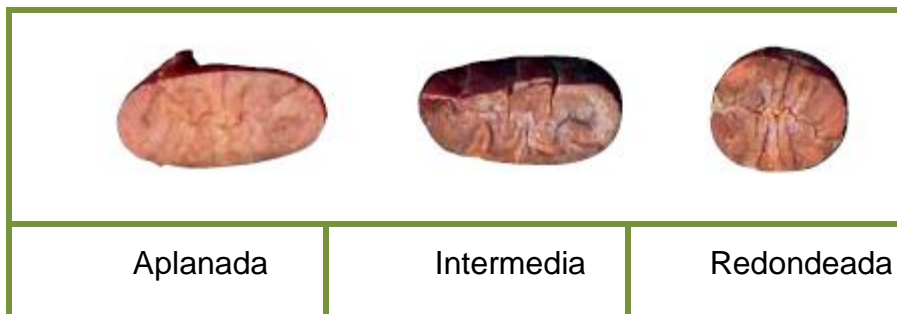
Fuente: Autor adaptado de (Phillips Mora, Arciniega Leal & Mata Quirós, 2012).

- **Forma del cotiledón**



Fuente: Autor adaptado de (Phillips Mora, Arciniega Leal & Mata Quirós, 2012).

- **Forma del corte transversal**



Fuente: Autor adaptado de (Phillips Mora, Arciniega Leal & Mata Quirós, 2012)

Descriptores Cuantitativos

- ❖ **Peso del fruto (PES_FRU):** Se determina con una balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g).
- ❖ **Longitud del fruto (LONG_FRU):** Es la medida comprendida desde el punto de unión del pedúnculo hasta el ápice. Se determina con un calibrador marca Mitutoyo®, de referencia Cd – 62 CSX, modelo Absolute Digimatic, registrando los valores en milímetros (mm).
- ❖ **Longitud de la semilla (LONG_SEM):** Es la medida comprendida desde el punto de unión del pedúnculo hasta el ápice. Se determina con un calibrador marca Mitutoyo®, de referencia Cd – 62 CSX, modelo Absolute Digimatic, registrando los valores en milímetros (mm).

- ❖ Diámetro del fruto (DIA_FRU): Es la medida de la parte intermedia (más ancha) de la mazorca o fruto. Se determina con un calibrador marca Mitutoyo®, de referencia Cd – 62 CSX, modelo Absolute Digimatic, registrando los valores en milímetros (mm).
- ❖ Diámetro de la semilla (DIA_SEM): Es la medida de la parte intermedia (más ancha) de la mazorca o fruto. Se determina con un calibrador marca Mitutoyo®, de referencia Cd – 62 CSX, modelo Absolute Digimatic, registrando los valores en milímetros (mm).
- ❖ Relación long (mm) / diámetro fruto (L/D_FRU): Es la relación entre la longitud y el diámetro, sirviendo como indicador para la forma del fruto.
- ❖ Relación Long (mm) / diámetro semilla (L/D_SEM): Es la relación entre la longitud y el diámetro, sirviendo como indicador para la forma del fruto.
- ❖ Peso Cáscara (PES_CAS): Se determina con una balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g)
- ❖ Peso semilla (PES_SEM): Se determina con una balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g)
- ❖ Grosor cáscara (GRO_CAS): Es medida con un calibrador marca Mitutoyo®, de referencia Cd – 62 CSX, modelo Absolute Digimatic, registrando los valores en milímetros (mm).
- ❖ Color de la cáscara en fruto maduro (COL_FRUT): Se determina de manera visual.
- ❖ Color de la semilla en fruto maduro (COL_SEM): Se determina de manera visual.
- ❖ Peso pulpa (PES_PUL): Se determina con una balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g).
- ❖ Número de Semillas por Fruto (NUM_SEM): Se contabilizó la cantidad de semillas que posee cada fruto de cacao.
- ❖ Porcentaje Humedad de Semillas por Fruto (HUM_SEM): Se determina con una balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g).
- ❖ Porcentaje Humedad de pulpa (HUM_PUL): Se determina con una balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g).
- ❖ Porcentaje de Humedad cáscara (HUM_CAS): Se determina con una balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g).

- ❖ Porcentaje de ceniza de la cáscara (CEN_CAS): se determina a partir de la mufla marca Thermolyne, modelo Furnace 1500, usando temperaturas de 500°C.
- ❖ Porcentaje de ceniza de la pulpa (CEN_PUL): se determina a partir de la mufla marca Thermolyne, modelo Furnace 1500, usando temperaturas de 500°C.
- ❖ Porcentaje de ceniza de la semilla (CEN_SEM): se determina a partir de la mufla marca Thermolyne, modelo Furnace 1500, usando temperaturas de 500°C.
- ❖ Índice de Grano (IND_GRAN): Peso promedio de grano en gramos, tomado de una muestra de 100 granos de cacao seco. Se determina con una balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g).
- ❖ Grosor de la semilla (GRO_SEM): Medida de la arte más sobresaliente y gruesa de la semilla. Se determina con un calibrador marca Mitutoyo®, de referencia Cd – 62 CSX, modelo Absolute Digimatic, registrando los valores en milímetros (mm).
- ❖ Peso pulpa (PES_PULP): Se determina con una balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g).
- ❖ Porcentaje de pulpa (%_PUL): se determina a partir de los pesos iniciales del fruto y pulpa que son arrojados por la balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g).
- ❖ Porcentaje de semilla (%_SEM): se determina a partir de los pesos iniciales del fruto y pulpa que son arrojados por la balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g).
- ❖ Porcentaje de cáscara (%: CAS): se determina a partir de los pesos iniciales del fruto y pulpa que son arrojados por la balanza digital marca DeltaRange®, modelo Mettler PE 3600, registrando los valores en gramos (g).
- ❖ Corte transversal de la semilla (CTRA_SEM): se determina según manual del Catie, 2012.
- ❖ Ápice del fruto (API_FRU): se determina según manual del Catie, 2012.
- ❖ Forma del fruto (FOR_FRU): se determina según manual del Catie, 2012.
- ❖ Forma de la semilla (FOR_SEM): se determina según manual del CATIE, 2012.
- ❖ Rugosidad del fruto (RUG_FRU): se determina según manual del CATIE, 2012.
- ❖ Constricción basal (CONS_FRU): se determina según manual del CATIE, 2012.
- ❖ Proteína de la semilla (PRO_SEM): se determina a partir de digestor para análisis Kjeldahl FOSS.

- ❖ Teobromina de la semilla (TEO_SEM): se determina a partir del HPLC marca
- ❖ Cafeína de la semilla (CAF_SEM): se determina a partir del HPLC marca
- ❖ pH de la semilla (pH_SEM): se determina a partir del peachimetro de marca orion 2 star.
- ❖ pH de la pulpa (pH_PUL): se determina a partir del peachimetro de marca orion 2 star.
- ❖ °Brix de la semilla (BRI_SEM): se determina a partir de refractómetro digital marca Atago®.
- ❖ °Brix de la pulpa (BRI_PUL): se determina a partir de refractómetro digital marca Atago®.
- ❖ Acidez total de la semilla (ACI_SEM): se determina a partir de la buretra marca Titrette®.
- ❖ Acidez total de la pulpa (ACI_PUL): se determina a partir de la buretra marca Titrette®.

Anexo B. Registro de características morfológicas a cinco clones de cacao.

• **Descriptores cualitativos**

Material	FOR_FRU	COL_FRU	API_FRU	CTRA_SEM	COL_SEM	FOR_SEM
CCN 51	Criollo	Rojo con amarillo	Agudo	Aplanada	Morado oscuro	Ovalada
TSH 565	Angoleta	Amarillo con anaranjado	Agudo	Intermedia	Purpura oscuro	Elíptica
ICS 01	Amelonado	Anaranjado	Agudo	Intermedia	Purpura oscuro	Ovalada
ICS 39	Angoleta	Amarillo verde	Atenuado	Intermedia	Purpura oscuro	Irregular
ICS 95	Cundeamor	Violeta con verde	Mamilado	Intermedia	Purpura oscuro	Ovalada

Fuente: Autor

• **Descriptores cuantitativos**

Material	CONS_FRU	RUG_FRU	DIA_FRU	LONG_FRU	PES_PS	CAF_SEM
CCN 51	7	7	26.90±0.48 a	231.97± a	214.67±22.3 b	0.26 ± 0.53 a
TSH 565	7	5	25.12±1.73 a	220.84± a	166.57±20.95 a b	0.33 ±0.03 a b c
ICS 01	5	5	27.14±0.27 a	203.01± a	182.67±2.40 a b	0.48 ± 0.39 c
ICS 39	5	7	26.58±0.30 a	220.44± a	198.00±33.24 a b	0.45±0.57 b c
ICS 95	7	7	26.02±0.01 a	211.69± a	106.00±6.42 a	0.28± 0.27 a b
CV (%)	-	-	5.42	5.72	20.47	19.45

Fuente: Autor

Material	PES_PUL	NUM_SEM	PES_SEM	DIA_SEM	LONG_SEM	TEO_SEM	PES_CAS
CCN 51	17.72±11.37 a	48.00±3.05 a	115.33±6.76 b	14.73±0.07 c	25.38±0.66 a	1.28±0.10 a	550.0±11.37 a
TSH 565	60.00±48.25 b c	47.33±3.17 a	76.00±8.71 a b	13.09±0.08 a	23.94±1.99 a	1.03±0.04 a	522.67±48.25 a
ICS 01	64.67±33.51 b c	48.00±5.03 a	104.00±2.0 b	13.55±0.05 b	27.07±1.17 a	1.38±0.14 a	611.33±33.51 a
ICS 39	69.33±44.72 c	38.67±6.35 a	105.33±16.70 b	14.86±0.43 c	25.93±0.83 a	1.10±0.14 a	569.33±44.76 a
ICS 95	33.33±39.67 a b	33.67±4.09 a	58.67±1.76 a	12.47±0.12 a	24.30±0.92 a	0.91±0.08 a	515.33±39.67 a
CV (%)	24.27g	18,14	17.03	2.67	8.29	16.98	11,83

Fuente: Autor

n= 15 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$). Abreviaturas utilizadas se encuentran descritas en el Anexo. Parámetros para la caracterización morfológica del fruto cacao (*Theobroma cacao* L.)

Anexo C. Registro de pH de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones individuales.

COTILEDON					
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
TSH 565	5.71 ± 0.19 a	5.20 ± 0.11 a	5.04 ± 0.02 a	4.82 ± 0.04 a	4.20 ± 0.02 a
ICS 39	6.01 ± 0.08 a	5.25 ± 0.03 a	5.14 ± 0.05 a	4.87 ± 0.06 a	4.66 ± 0.12 b
CCN 51	6.09 ± 0.0 a	5.35 ± 0.00 a	5.13 ± 0.03 a	5.19 ± 0.09 b	5.09 ± 0.06. c
ICS 01	6.12 ± 0.06 a	5.39 ± 0.06 a	5.18 ± 0.00 a	5.00 ± 0.02a b	-
ICS 95	6.15 ± 0.13 a	5.57 ± 0.13 a	5.03 ± 0.07 a	4.90 ± 0.07 a	-
CV (%)	2.95	2.96	1.19	1.96	3.22

Fuente: Autor.

TESTA+PULPA			
Material	Día 4	Día 5	Día 6
TSH 565	3.73±0.02 a	3.73±0.11 a	3.80±0.07 a
ICS 39	3.75±0.02 a	4.24±0.09 b	3.82±0.04 a
CCN 51	3.76±0.05 a	4.28±0.16 a	4.53±0.05 a
ICS 01	3.86±0.04 a	4.04± 0.03 a b	-
ICS 95	3.73±0.02 a	4.16±0.05 b	-
CV (%)	1.39	3.48	2.79

Fuente: Autor.

n= 15 hasta el día 5; n=9 día 6 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

Anexo D. Registro de °Brix de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones individuales.

COTILEDON					
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
TSH 565	0.73 ± 0.22 a	1.06 ± 0.07ab	1.70 ± 0.12 b	1.12 ± 0.08 a	0.75 ± 0.08 a
ICS 39	0.82 ± 0.54 a	1.18 ± 0.09 b	1.33 ± 0.03 b	1.20 ± 0.21 a	0.71 ± 0.09 a
CCN 51	0.68 ± 0.10 a	0.89 ± 0.02 a	0.80 ± 0.10 a	0.79 ± 0.18 a	0.45 ± 0.08 a
ICS 01	1.14 ± 0.03 a	1.16 ± 0.09 b	1.33 ± 0.07 b	1.10 ± 0.12 a	-
ICS 95	0.80 ± 0.12 a	1.08 ± 0.07ab	1.49 ± 0.11 b	1.07 ± 0.12a	-
CV (%)	28.78	11.14	10.94	22.64	20.39

Fuente: Autor.

TESTA+PULPA			
Material	Día 4	Día 5	Día 6
TSH 565	0.73±0.09 a	1.18±0.04 a	0.69±0.05 a
ICS 39	1.20±0.11 a	1.20± 0.30 a	1.09±0.02 b
CCN 51	0.96±0.02 a	0.91±0.08 a	1.07±0.08 a
ICS 01	1.04±0.20 a	1.10±0.10 a	-
ICS 95	0.63±0.03 a	1.06±0.07 a	-
CV (%)	24.35	25.44	9.05

Fuente: Autor.

n= 15 hasta el día 5; n=9 día 6 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

Anexo E. Registro de Acidez titulable de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones individuales.

COTILEDON					
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
TSH 565	1.39 ± 0.18 a	2.73 ± 0.75ab	2.72 ± 0.33 a	3.38 ± 0.18ab	2.41 ± 0.29 a
ICS 39	1.17 ± 0.14 a	3.32 ± 0.45 b	2.72 ± 0.47 a	4.87 ± 0.19 b	2.29 ± 0.17 a
CCN 51	1.09 ± 0.06 a	0.84 ± 0.31 a	3.14 ± 0.16 a	1.65 ± 0.25 a	1.66 ± 0.29 a
ICS 01	1.74 ± 0.18 a	3.34 ± 0.20 b	1.82 ± 0.03 a	2.37 ± 0.24 a	-
ICS 95	1.50 ± 0.25 a	1.77 ± 0.18ab	3.41 ± 0.81 a	2.91 ± 0.64 a	-
CV (%)	23.03	30.23	29.70	19.44	19.04

TESTA+PULPA			
Material	Día 4	Día 5	Día 6
TSH 565	1.90±0.11 a	1.08±0.07 a	1.33±0.12 a
ICS 39	2.11±0.29 a	1.10±0.26 a	1.59±0.16 a
CCN 51	4.32±0.17 a	3.63±0.36 a	2.26±0.12 a
ICS 01	2.55±0.29 a	1.73±0.05 a	-
ICS 95	1.62±0.09 a	1.37±0.11 a	-
CV (%)	18.67	19.85	17.22

Fuente: Autor.

n= 15 hasta el día 5; n=9 día 6 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

Anexo F. Registro de índice de fermentación de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C.
Microfermentaciones individuales.

COTILEDON				
Material	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
TSH 565	0.66 ± 0.09a	0.71 ± 0.01 a	0.78 ± 0.04 a	1.03 ± 0.01 a
ICS 39	0.55 ± 0.02 a	0.70 ± 0.02 a	0.76 ± 0.11 a	1.17 ± 0.14 a
CCN 51	0.75 ± 0.01 a	0.70 ± 0.10 a	1.20 ± 0.18 b	1.28 ± 0.18 a
ICS 01	0.82 ± 0.25 a	0.67 ± 0.10 a	0.71 ± 0.06 a	-
ICS 95	0.66 ± 0.17 a	0.74 ± 0.06 a	0.66 ± 0.05 a	-
CV (%)	37.45	17.94	17.99	16.81

Fuente: Autor

n= 15 hasta el día 5; n=9 día 6 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

Anexo G. Registro de prueba de corte para cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C.

Microfermentaciones individuales.

	COTILEDON				
Material	Total de granos	Humedad (%)	Granos bien fermentados (%)	Granos insuficientes fermentados (%)	Índice de grano (g)
TSH 565	10	8.40 ±1.13 a	80.0 ± 5.77 a	20.0 ± 5.77 a	1.40 ± 0.02 a
ICS 39	10	7.15 ± 0.14 a	86.67 ± 8.81 a	13.33 ±8.81 a	2.27 ± 0.08 c
CCN 51	10	6.38 ± 0.015 a	80.0 ± 0.00 a	20.0 ± 0.00 a	1.67 ±0.02 ab
ICS 01	10	6.64 ± 0.28 a	63.33 ± 3.33 a	36.67 ±3.33 a	1.84 ± 0.04 b
ICS 95	10	4.81 ± 0.27 a	83.33 ± 3.33 a	16.67 ±3.33 a	1.69 ±0.09 ab
CV (%)	-	12.0	12.0	44,0	6.40

Fuente: Autor.

n= 15 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

Anexo H. Registro de polifenoles totales de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C.
Microfermentaciones individuales.

COTILEDON					
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
TSH 565	62.10±7.55 a	39.27±2.05 a	38.92 ± 2.41a	66.56 ±5.80 b	23.35 ±6.81 a
ICS 39	53.10±3.27 a	46.20±6.517 a	50.11 ±9.14 ab	42.64 ±3.96 a	39.83 ± 11.71a
CCN 51	51.67±3.16 a	48.37 ±1.49 a	70.47 ± 2.56b	31.01 ±0.01 a	31.55 ± 7.82 a
ICS 01	65.99±11.6 a	34.87±3.40 a	50.86 ±4,.5 ab	39.35 ±3.90 a	-
ICS 95	59.40±3.34 a	42.85 ±3.31 a	43.49 ± 3.32 a	32.40 ± 6.00 a	-
CV (%)	19.88	16.31	17.01	18.97	49.57

Fuente: Autor.

n= 15 hasta el día 5; n=9 día 6 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

Anexo I. Registro de perfil sensorial de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C.

Microfermentaciones individuales.

	Masa de cacao									
Material	Cacao	Acidez	Astringencia	Amargor	Fruta	Floral	Verde	Nuez	Panela Malta	Otro
TSH 565	4.50	4.25	3.75	4.50	2.50	1.50	2.0	2.25	0.75	1
ICS 39	4.25	4.0	6.25	5.0	1.25	1.25	3.25	1.50	0.50	1
CCN 51	3.69	4.02	4.04	3.96	1.81	0.81	2.31	1.56	0.69	0.50
ICS 01	3.33	3.0	2.67	2.33	0	0	2.33	1.67	1.33	0
ICS 95	2.67	4.83	3.50	4.0	1.50	0.50	1.67	0.83	0.17	0

Fuente: Autor.

Anexo J. Registro del seguimiento bromatológico en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones mezclas.

- Registro de pH de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones mezclas.

COTILEDON						
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mezcla 1	6.08±0.216 a b	5.67±0.07 a b	5.29±0.048 a	5.12±0.04 a b	4.94±0.00 a b	4.89±0.05 b c
Mezcla 2	6.08 ±0.05 a b	5.89±0.09 b	5.48±0.193a	5.43±0.01 c d	5.33±0.02 c d	5.18±0.07 d
Mezcla 3	6.32 ±0.00 b	5.77±0.06 a b	5.26±0.162 a	4.94±0.03 a	4.97±0.11 ab	4.63±0.03 a b
Mezcla 4	6.11±0.06 a b	5.82 ±0.02 a b	5.19 ±0.04 a	5.21±0.07 b c	5.08±0.1 a b c	4.60±0.32 a
Mezcla 5	6.09±0.01 a b	5.91±0.04 b	5.33 ±0.08 a	4.93±0.06 a	4.96±0.01 a b	4.59±0.03 a
Mezcla 6	5.95 ±0.15 a b	5.54±0.01 a	5.15 ±0.08 a	4.89±0.02 a	4.76±0.02 a	4.55±0.07 a
Mezcla 7	6.10 ±0.02 a b	5.90±0.02 b	5.61 ±0.13 a	5.07±0.08 a b	5.15±0.10 b c d	4.91±0.02 c d
Mezcla 8	5.78 ±0.13 a	5.65±0.07 a b	5.54 ±0.18 a	5.48±0.03 d	5.60±0.04 e	-
Mezcla 9	5.96 ±0.04 a b	5.89±0.26 b	5.63±0.07 a	5.73±0.08 e	5.47±0.05 d e	-
CV (%)	2.28	1.78	3.91	1.61	2.30	1.98
TESTA+PULPA						

Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mezcla 1	3.85±0.005 a b	3.82±0.07 a b c d	4.11±0.02 a b c	4.56±0.04 a	4.75±0.12 a	4.46±0.08 a b
Mezcla 2	3.84±0.01 a b	3.68±0.02 a	4.22±0.05 a b c	4.59±0.05 a	4.76±0.04 a	4.78±0.02 c
Mezcla 3	3.78±0.02 a	3.69±0.03 a b	4.15±0.00 a b c	4.55±0.04 a	4.52±0.06 a	4.32±0.03 a
Mezcla 4	3.81±0.012 a b	3.66±0.03 a	4.24±0.07 b c	4.50±0.10 a	4.68±0.16 a	4.46±0.08 a b
Mezcla 5	3.95±0.04 b	3.70±0.04 a b	3.95±0.03 a	4.36±0.04 a	4.49±0.02 a	4.32±0.02 a
Mezcla 6	3.88±0.04a b	3.73±0.02 a b c	4.06±0.07 a b	4.50±0.10 a	4.39±0.06 a	4.56±0.04 a b c
Mezcla 7	3.82±0.01 a b	3.89±0.020 b c d	4.30±0.04 b c	4.65±0.05 a	4.68±0.06 a	4.64± 0.00 b c
Mezcla 8	3.76±0.03 a	3.92±0.050 c d	4.15±0.02 a b c	4.53±0.03 a	4.51±0.02 a	-
Mezcla 9	3.90±0.04 a b	4.00±0.04 d	4.35±0.09 c	4.56±0.12 a	4.42±0.04 a	-
CV (%)	1.41	1.91	2.31	2.77	3.14	1.98

Fuente: Autor.

n= 27 hasta el día 6 y n=21 día 7± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

- Registro de °Brix de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones mezclas.

COTILEDON						
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mezcla 1	0.80±0.15 a b	0.77±0.05 a	1.63±0.03 c d	1.23 ±0.12 a	0.87±0.09a	0.87±0.15a b
Mezcla 2	0.68±0.06 a b	0.44±0.05 a	1.43±0.14 b c d	0.90±0.05 a	0.57±0.02a	0.43±0.33 a
Mezcla 3	0.63±0.03 a b	0.60±0.05 a	2.07±0.30d	0.95±0.12 a	0.67±0.06 a	1.61±0.34 c
Mezcla 4	0.60±0.10 a	0.72±0.16 a	1.45±0.05 b c d	0.80±0.19 a	0.89±0.09a	0.61±0.06 a b
Mezcla 5	0.77±0.12 a b	0.63±0.08 a	1.73±0.18 c d	1.12±0.15 a	1.00±0.07 a	1.03±0.12 b
Mezcla 6	0.70±0.10 a b	0.63±0.03 a	1.70±0.20 c d	1.07±0.07a	0.80± 0.17 a	0.92±0.06 b
Mezcla 7	0.59±0.06 a	0.83±0.08 a	1.39±0.05 b c	1.13±0.19 a	0.93±0.12 a	0.97±0.06 b
Mezcla 8	0.84±0.08 a b	0.79±0.17 a	0.84±0.09 a b	0.83±0.15 a	0.66± 0.05 a	-
Mezcla 9	1.12±0.09 b	0.90±0.05 a	0.62±0.04 a	0.97±0.09 a	0.63± 0.03 a	-
CV (%)	24.19	24.00	15.39	19.40	20.44	18.16

Fuente: Autor.

TESTA+PULPA						
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mezcla 1	1.70±0.05 a	0.60±0.06 a b	0.74±0.08 a	0.79±0.01 a	0.77±0.06 a b	0.72±0.18 a
Mezcla 2	1.84±0.14 a	0.80±0.08 b c	0.60±0.05 a	0.47±0.08 a	0.57±0.06 a	0.70±0.10 a

TESTA+PULPA						
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mezcla 3	1.54±0.02 a	0.68±0.05 a b	0.89±0.05 a	0.67±0.03 a	0.77±0.03 a b	0.64±0.08 a
Mezcla 4	1.83±0.23 a	0.67±0.05 a b	0.55±0.09 a	0.60±0.11 a	0.80±0.11 a b	0.74±0.07 a
Mezcla 5	1.51±0.18 a	0.66±0.01 a b	0.70±0.10 a	0.86±0.04 a	0.77±0.14 a b	0.86±0.14 a
Mezcla 6	1.57±0.08 a	0.53±0.03 a	0.63±0.06 a	0.63±0.08 a	0.63±0.06 a b	0.64±0.24 a
Mezcla 7	1.63±0.24 a	0.47±0.06 a	0.66±0.10 a	0.66±0.04 a	0.48±0.02 a	0.72±0.01 a
Mezcla 8	2.32±0.22 a	0.83±0.03 b c	0.67±0.13 a	0.84±0.10 a	0.95±0.04 b	-
Mezcla 9	2.07±0.27 a	1.06±0.26 c	0.92±0.08 a	0.94±0.19 a	0.85±0.04 a b	-
CV (%)	18.67	11.64	22.50	23.32	18.09	32.85

Fuente: Autor. n= 27 hasta el día 6 y n=21 día 7± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

- Registro % de Acidez total de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C.
Microfermentaciones mezclas.

COTILEDON						
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mezcla 1	1.65±0.34 a b c	5.67±0.22 a b	0.85±0.16 a	4.38±0.29 b c	4.11±0.56 c	4.75±0.71 a
Mezcla 2	1.34±0.02 a b	5.89±0.14 b	0.91±0.04 a	1.58±0.21 a	2.06±0.07 a b	2.76±0.19 a
Mezcla 3	1.55±0.15 a b	5.77±0.25 a b	1.52±0.52 a	6.54 ± 0.62 d	3.63±0.23 b c	5.55±0.36 b
Mezcla 4	1.38±0.06 a b	5.86±0.10 a b	1.05±0.44 a	2.98±0.42 a b	3.17±0.50 b c	4.40±0.89 a
Mezcla 5	1.17±0.09 a	5.91±0.19 b	1.39±0.17 a	5.69 ±0.15 c d	3.31±0.06 b c	4.94±1.6 a
Mezcla 6	3.02±0.51 d	5.53±0.12 a	1.68±0.35 a	6.46±0.06 d	3.87±0.10 c	4.92± 0.86 a
Mezcla 7	3.02±0.13 d	5.90±0.26 b	1.28±0.21 a	2.81±0.46 a b	3.56±0.67 b c	4.88±0.44 a
Mezcla 8	2.48±0.26 b c d	5.65±0.01 a b	1.53±0.19 a	2.50±0.48 a b	1.88±0.24 a b	-
Mezcla 9	2.78±0.61 c d	5.89±0.18 b	1.37±0.10 a	1.38 ± 0.23 a	1.34±0.08 a	-
CV (%)	21.90	1.82	36.39	18.26	20.93	23.23

Fuente: Autor.

TESTA+PULPA						
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mezcla 1	2.66±0.35 a	2.38±0.22 a	4.31±0.44 b	4.21±0.16 b	3.23±0.32 a	3.59±0.76 a
Mezcla 2	2.81±0.26 a	1.78±0.18 a	3.39±1.03 a b	2.75±0.75 a b	2.93±0.40 a	2.88±0.30 a
Mezcla 3	3.46±0.49 a	2.11±0.37 a	3.79±0.27 a b	3.03±0.46 a b	2.55±0.59 a	3.67±0.11 a
Mezcla 4	2.96±0.61 a	2.97±0.10 a	3.08±0.20 a b	2.90±0.37 a b	2.58±0.35 a	4.53±1.09 a
Mezcla 5	2.44±0.41 a	2.33±0.29 a	3.38±0.84 a b	3.10±0.41 a b	2.49±0.33 a	4.97±0.82 a
Mezcla 6	3.02±0.56 a	2.19±0.28 a	3.17±0.16 a b	3.61±0.09 a b	2.66±0.28 a	4.56± 0.21 a
Mezcla 7	2.28±0.13 a	2.41±0.48 a	3.19±0.40 a b	3.24±0.22 a b	2.45±0.22 a	4.07±1.27 a
Mezcla 8	3.72±0.22 a	1.87±0.14 a	1.52± 0.28 a	1.40±0.15 a	2.00±0.38 a	-
Mezcla 9	3.11±0.10 a	2.12±0.30 a	1.25±0.15 a	1.83±0.22 a	1.73±0.29 a	-
CV (%)	23.16	22.48	29.62	26.84	25.46	33.51

Fuente: Autor.

n= 27 hasta el día 6 y n=21 día 7± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

Anexo K. Registro de pruebas químicas para cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C.
Microfermentaciones mezclas.

- Registro del índice de fermentación para cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C.
Microfermentaciones mezclas.

COTILEDON					
Material	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mezcla 1	0.45±0.01 a	0.72±0.04 a	1.21±0.12 b	1.10±0.04 a	1.18±0.15 a
Mezcla 2	0.45±0.03 a	1.06±0.20 a	1.11±0.06 b	1.17±0.09 a	1.12±0.06 a
Mezcla 3	0.52±0.04 a	0.65±0.03 a	1.00±0.07 a b	1.09±0.02 a	1.40±0.08 a
Mezcla 4	0.49±0.02 a	0.65±0.01 a	0.95±0.13 a b	1.31± 0.00 a	1.43±0.10 a
Mezcla 5	0.63±0.06 a	0.81±0.17 a	0.82±0.09 a b	1.20±0.16 a	1.22±0.14 a
Mezcla 6	0.48±0.03 a	0.95±0.08 a	0.64±0.01 a	1,11± 0.16 a	1.30±0.09 a
Mezcla 7	0.49±0.01 a	0.74±0.03 a	0.85±0.04 a b	1.27±0.17 a	1.00±0.05 a
Mezcla 8	0.93±0.01 a	0.84±0.00 a	0.81±0.06 a b	1.40±0.04 a	-
Mezcla 9	1.21±0.07 a	0.84±0.12 a	0.95±0.05 a b	1.12±0.10 a	-

COTILEDON					
Material	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Coefficiente de variación (%)	12.84	23.90	16.02	17.09	14.92

Fuente: Autor.

n= 27 hasta el día 6 y n=21 día 7 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

- Registro de polifenoles totales para cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C. Microfermentaciones mezclas.

COTILEDON						
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mezcla 1	63.16±4.73 a	48.00±3.19 a	44.69±1.57 a b	34.90±2.25 a b	12.70±3.81 a	43.74±8.01 a
Mezcla 2	46.73±2.02 a	61.10±4.65 a	23.98±1.54 a	34.71±6.54 a b	24.53±4.90 a b	27.53±3.98 a
Mezcla 3	6.61±4.23 a	43.93±4.52 a	28.98±2.62 a	16.66±13.24 a	40.65±7.81 b	37.92±9.07 a
Mezcla 4	65.62±6.60 a	54.30±3.54 a	40.05±2.70 a b	38.38±3.12 b	26.28±3.22 a b	26.56±2.33 a

COTILEDON						
Material	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Mezcla 5	43.9±6.74 a	45.47±3.69 a	54.99±18.90 b	43.23±4.23 b	35.76±8.84 a b	31.54±9.73 a
Mezcla 6	47.29±9.94a	55.71±8.41 a	38.12±2.63 a b	23.89±5.35 a b	23.22±3.63 a b	25.92±1.36 a
Mezcla 7	64.26±6.23 a	52.96±4.03 a	44.47±5.47 a b	22.72±1.98 a b	20.98±3.04 a b	28.13±6.03 a
Mezcla 8	47.29±8.94 a	41.17±0.00 a	28.20±8.06 a	16.97±1.43 a	± a	-
Mezcla 9	64.26±6.23 a	45.27±7.03 a	32.02±1.81 a	25.92±4.45 a b	± a	-
CV (%)	21.18	17.21	20.03	24.00		35.91

Fuente: Autor.

n= 27 hasta el día 6 y n=21 día 7± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

Anexo L. Registro de prueba de corte para cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C.
Microfermentaciones mezclas.

COTILEDON					
Material	Total granos	Humedad (%)	Granos bien fermentados (%)	Granos insuficientes fermentados (%)	Índice de grano (g)
Mezcla 1	10	4.95±0.27 a b	63.33±12.01 a	36.67±20.81 a	1.68±0.06 a
Mezcla 2	10	5.41±0.26 b	60.00±0.00a	40.00±0.00 a	1.63±0.10 a
Mezcla 3	10	5.57±0.09 b c	50.00±12.01 a	50.00±20.81 a	1.44±0.13 a
Mezcla 4	10	5.52±0.27 a b c	56.67±3.33 a	43.33±5.77 a	1.48±0.02 a
Mezcla 5	10	5.66±0.00 b c	73.33±8.81 a	26.67±15.27 a	1.43±0.11 a
Mezcla 6	10	4.10±0.44 a	56.67±3.33 a	43.33±5.77 a	1.38±0.09 a
Mezcla 7	10	6.73±0.23 c	76.67± 3.33 a	23.33±5.77 a	1.43±0.15 a
Mezcla 8	10	5.01±0.06 a b	73.33±3.33 a	26.67±5.77 a	1.47±0.08 a
Mezcla 9	10	6.17±0.14 b c	70.00±10.0 a	30.00±17.32 a	1.35±0.16 a
CV (%)	-	7.00	20.37	34.89	7.54

Fuente: Autor.

n= 27 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

Anexo M. Registro de perfil sensorial de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C.
Microfermentaciones Mezclas.

Masa de cacao										
Material	Cacao	Acidez	Astringencia	Amargor	Frutal	Floral	Verde	Nuez	Panela Malta	Otro
Mezcla 1	4.5	2.25	2	2.75	2	0.75	0.5	1.25	1	1.5
Mezcla 2	4	1.3	1.6	1.6	2	1.6	1	1	0	0
Mezcla 3	5	3	3	2.5	2	0	3	0.5	0	0
Mezcla 4	4.3	1.6	2.3	1.6	2	2.6	0	1	1.3	2
Mezcla 5	4	4	1.5	2.5	1.5	0	0	1	1	0
Mezcla 6	5.5	2.5	2.25	2.5	3.5	1.75	.25	.5	2	1.25
Mezcla 7	5.3	2.6	1.3	2.6	4.3	2.6	2	1.6	2	1
Mezcla 8	3	2	3	2.3	1	1.3	0.3	1	0.6	0
Mezcla 9	4.5	2.5	2.5	1.5	2	3	0	0.5	0	0

Fuente: Autor

Anexo N. Registro de de cacao fermentado en los fermentadores tipo: escalera en madera, cajón inclinado en policarbonato y tanque rotatorio en acero inoxidable.

COTILEDON							
Fermentador	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Escalera en madera	5.35±0.15 a	5.50±0,15 a	4.48±0.04 a	4.34±0.07 a	4.64±0.08 a	4.97±0.07 a	5.39±0.017 a
Tanque rotatorio en acero inoxidable	5.00±0.43 a	5.78±0,05 a	5.57±0,04 c	4.54±0.01 a	5.05±0.02 a	5.24±0.08 a	5.61±0.05 a
Cajón inclinado en policarbonato	5.66±0.09 a	5.17±0,23 a	4.52±0.02a	4.86±0.07 b	4.97±0.09 a	5.36±0.19 a	5.19±0.017 a
CV (%)	7.68	5.41	3.03	2.36	6.87	4.42	1.18

Fuente: Autor.

TESTA+PULPA							
Fermentador	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Escalera en madera	3.76±0.10 a	4.51±0.16 b	4.30±0.02 a	4.32±0.13 a b	4.90±0.17 a	5.63±0.06 a	5.99±0.03 a
Tanque rotatorio en acero inoxidable	3.64±0.06 a	4.13±0.12 a b	4.03±0.01 a	3.81±0.04 a	5.42±0.14 a	5.82±0.017 a	6.00±0.16 a
Cajón inclinado en policarbonato	3.96±0.02 a	4.30±0.09 a b	4.41±0.06 a	5.12±0.27 b	5.31±0.20 a	5.76±0.04 a	6.38±0.04 a
CV (%)	5.44	4.78	4.15	11.05	5.67	1.33	2.82

Fuente: Autor.

n=9 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

Anexo O. Registro de °Brix de cacao fermentado en los fermentadores tipo: escalera en madera, cajón inclinado en policarbonato y tanque rotatorio en acero inoxidable.

COTILEDON							
Fermentador	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Escalera en madera	0.64±0.07 a	0.62±0.13 a	0.70± 0.05 a	0.73±0.03 b	0.53±0.03 a	0.50±0.07 a	0.67±0.01 a
Tanque rotatorio en acero inoxidable	0.57±0.12 a	0.80±0.05 a	0.42±0.07 a	1.14±0.03 c	0.63±0.08 a	0.53±0.08 a	0.53±0.05 a
Cajón inclinado en policarbonato	0.59±0.05 a	0.70±0.15 a	0.70±0.05 a	0.76±0.02 b	0.64±0.02 a	0.90±0.19 b	0.74±0.01 a
CV (%)	23.54	25.62	2.05	9.53	21.35	15.83	26.48

Fuente: Autor.

TESTA+PULPA							
Fermentador	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Escalera en madera	1.80±0.17 a	0.61±0.10 a	0.60±0.05 b	0.60±0.05 b	0.60±0.05 a	0.53±0.03 a	0.43±0.14 a
Tanque rotatorio en acero inoxidable	1.79±0.17 a	0.42±0.04 a	0.29±0.01a	0.30±0.05 a	0.52±0.04 a	0.47±0.12 a	0.58±0.09 a

TESTA+PULPA							
Fermentador	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Cajón inclinado en policarbonato	1.27±0.17 a	0.61±0.14 a	0.52±0.04 b	0.60±0.05 b	0.60±0.10 a	0.54±0.08 a	0.30±0.05 a
CV (%)	36.24	31.81	15.87	21,92	25.10	28.90	41.84

Fuente: Autor.

n=9 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

Anexo P. Registro % de Acidez total de cacao fermentado en los fermentadores tipo: escalera en madera, cajón inclinado en policarbonato y tanque rotatorio en acero inoxidable.

COTILEDON							
Fermentador	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Escalera en madera	0.96±0.21 a	1.17± 0.32 a	2.46±0.42 a	3.02±0.28 a	2.15± 0.07 a	1.71±0.31 a	1.31±0.15 a
Tanque rotatorio en acero inoxidable	2.46±0.39 b	2.46± 0.14 a	1.82±0.04 a	3.29±0.38 a	2.26±0.26 a	1.58±0.11 a	1.92±0.22 a
Cajón inclinado en policarbonato	0.64±0.10 a	0.81±0.16 a	1.57±0.22 a	2.55±0.20 a	1.88±0.08 a	1.72±0.05 a	1.42±0.27 a
CV (%)	38.28	80.42	27.41	28.01	13.90	20.30	24.73

Fuente: Autor.

TESTA+PULPA							
Fermentador	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Escalera en madera	4.99±0.11a	5.23±1.35 a	6.32±0.56 a	2.63±0.24a	3.62±0.45 a	1.97±0.39 a	3.13±0.38 a
Tanque rotatorio en	5.01±0.01 a	2.70±0.60 a	5.78±0.48 a	21.5±2.02 b	1.70±0.14 a	1.41±0.24 a	2.37±0.30 a

TESTA+PULPA							
Fermentador	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
acero inoxidable							
Cajón inclinado en policarbonato	4.26±0.68 a	5.45±0.82 a	6.34±1.09 a	1.95±0.08 a	2.05±0.34 a	2.33±0.19 a	2.23±0.29 a
CV (%)	19.22	38.03	18.78	32.20	66.10	26.55	22.16

Fuente: Autor.

n=9 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

Anexo Q. Registro de índice de fermentación para cacao fermentado en los fermentadores tipo: escalera en madera, cajón inclinado en policarbonato y tanque rotatorio en acero inoxidable.

COTILEDON						
Fermentador	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Escalera	0,43±0,02 a	0,70±0,04 a	0,95±0,0,6 a	1,22±0,18 a	1,39±0,14 a	1,67±0,11 a b
Tanque Rotatorio	0,65±0,08 a	0,82±0,05 a	0,73±0,013 a	0,99±0,20 a	1,14±0,11 a	1,03±0,07 a
cajón inclinado en policarbonato	0,61±0,25 a	0,64±0,09 a	0,84±0,06 a	1,03±0,02 a	1,19±0,04 a	2,20±0,42 b
CV (%)	46,90	21,67	17,38	21,84	15,48	27,46

Fuente: Autor.

n=13 hasta el día 6; n=9 día 7-8 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

Anexo R. Registro de polifenoles totales de cacao fermentado en los fermentadores tipo: escalera en madera, cajón inclinado en policarbonato y tanque rotatorio en acero inoxidable.

COTILEDON							
Fermentador	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Escalera	51.28±0.59 a	49.13±1.14 a	51.11±14.61 a	17.25± 0.38 a	25.03±5.07 a	23.52±6.79 a	25.68± 8.75a
Tanque Rotatorio	47.75±9.84 a	31.70±1.98 a	34.88±1.45 a	25.31±0.19 a	28.08±3.06 a	27.45±7.79 a	27.76± 10.98 a
cajón inclinado en policarbonato	49.65±7.56 a	36.79±3.88 a	38.28±7.18 a	41.52± 6.49 a	42.18±5.30 a	47.92±0.02 a	41.66± 2.04a
CV (%)	26.04	25.17	34.42	22.27	33.56	31.37	44.78

Fuente: Autor. n=9 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

Anexo S. Registro de prueba de corte de cacao fermentado en los fermentadores tipo: escalera en madera, cajón inclinado en policarbonato y tanque rotatorio en acero inoxidable.

COTILEDON					
Material	Total granos	Humedad (%)	Granos bien fermentados (%)	Granos insuficientes fermentados (%)	Índice de grano (g)
Escalera en madera	100	5.81±0.09 a b	57.00±8.88 a	43.00± 8.88a	1.69±0.03 b
Tanque rotatorio en acero inoxidable	100	6.75±0.27 b	58.33±7.26 a	41.67±7.26 a	1.52±0.07 a
Cajón inclinado en policarbonato	100	5.56±0.39 a	60.67±5.81 a	39.33±5.81 a	1.59±0.06 a b
CV (%)	-	7.80	24.05	46.69	4,04

.Fuente: Autor. n=9 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05).

Anexo T. Registro de Temperatura del cacao durante fermentación en los fermentadores tipo: escalera en madera, cajón inclinado en policarbonato y tanque rotatorio en acero inoxidable.

COTILEDON							
Fermentador	Día 0	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
Escalera en madera	25.70± 0.45 a	40.17±0.26 b	46.69±0.51 b	45.63±0.71 b	44.59±0.59 b	38.68±0.63 b	35±1.00 a
Tanque rotatorio en acero inoxidable	26,.30±0.50 a	34.18±0.34 a	37.78±0.51 a	37.98±0.71 a	39.32±0,60 a	37.98±0.36 b	36±1.22 a
Cajón inclinado en policarbonato	26.08±0.45 a	41.23±0.26 c	45.07±0.51 b	44.36±0.71 b	44.03±0,59 b	35.35±0.79 a	35.0±0.2 a
CV (%)	4.26	4.58	8.18	11.35	9.68	9.32	2.74


Fuente: Autor.

n=9 ± Error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

Anexo U. Registro de perfil sensorial de cacao fermentado en tarrinas plásticas a temperaturas de 35 a 45 °C.
Macrofermentaciones.

Masa de cacao										
Fermentador	Cacao	Acidez	Astringencia	Amargor	Frutal	Floral	Verde	Nuez	Panela Malta	Otro
Escalera en madera	3	3	2.5	2	0	0.5	0.5	0.5	0.5	2.5
Tanque rotatorio en acero inoxidable	3.5	4	3.5	4	0	0	3	2	0	0
Cajón inclinado en policarbonato	2	6	6	6	0	1	4	0	0	0

Fuente: Autor.

 Universidad del Tolima	PROCEDIMIENTO DE FORMACIÓN DE USUARIOS AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 1 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 03
		Fecha Aprobación: 15 de Febrero de 2017

Los suscritos:

Heidi Briggity Horta Téllez	con C.C N°	1.110.540.550
_____	con C.C N°	_____
_____	con C.C N°	_____
_____	con C.C N°	_____
_____	con C.C N°	_____

Manifiesto (an) la voluntad de:

Autorizar

☒

No Autorizar

☐

Motivo:


La consulta en físico y la virtualización de **mi OBRA**, con el fin de incluirlo en el repositorio institucional de la Universidad del Tolima. Esta autorización se hace sin ánimo de lucro, con fines académicos y no implica una cesión de derechos patrimoniales de autor.

Manifestamos que se trata de una OBRA original y como de la autoría de LA OBRA y en relación a la misma, declara que la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA, se encuentra, en todo caso, libre de todo tipo de responsabilidad, sea civil, administrativa o penal (incluido el reclamo por plagio).

Por su parte la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA se compromete a imponer las medidas necesarias que garanticen la conservación y custodia de la obra tanto en espacios físico como virtual, ajustándose para dicho fin a las normas fijadas en el Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad, en la Ley 23 de 1982 y demás normas concordantes.

La publicación de:

Trabajo de grado	<input checked="" type="checkbox"/>	Artículo	<input type="checkbox"/>	Proyecto de Investigación	<input type="checkbox"/>
Libro	<input type="checkbox"/>	Parte de libro	<input type="checkbox"/>	Documento de conferencia	<input type="checkbox"/>
Patente	<input type="checkbox"/>	Informe técnico	<input type="checkbox"/>		
Otro: (fotografía, mapa, radiografía, película, video, entre otros)					<input type="checkbox"/>

 Universidad del Tolima	PROCEDIMIENTO DE FORMACIÓN DE USUARIOS AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 2 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 03
		Fecha Aprobación: 15 de Febrero de 2017

Producto de la actividad académica/científica/cultural en la Universidad del Tolima, para que con fines académicos e investigativos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad del Tolima. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento en el momento mismo que hago entrega del trabajo final a la Biblioteca Rafael Parga Cortes de la Universidad del Tolima.

De conformidad con lo establecido en la Ley 23 de 1982 en los artículos 30 “**...Derechos Morales. El autor tendrá sobre su obra un derecho perpetuo, inalienable e irrenunciable**” y 37 “**...Es lícita la reproducción por cualquier medio, de una obra literaria o científica, ordenada u obtenida por el interesado en un solo ejemplar para su uso privado y sin fines de lucro**”. El artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “**los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores**” y en su artículo 61 de la Constitución Política de Colombia.

- Identificación del documento:

Título completo: **EVALUACIÓN DEL TIPO DE FERMENTADOR EN LA CALIDAD FINAL DE UNA MEZCLA DE CACAO (Theobroma cacao L.)**

- Trabajo de grado presentado para optar al título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL


- Proyecto de Investigación correspondiente al Programa (No diligenciar si es opción de grado “Trabajo de Grado”):

- Informe Técnico correspondiente al Programa (No diligenciar si es opción de grado “Trabajo de Grado”):

- Artículo publicado en revista:

- Capítulo publicado en libro:

- Conferencia a la que se presentó:

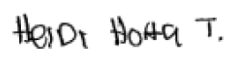
	PROCEDIMIENTO DE FORMACIÓN DE USUARIOS AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 3 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 03
		Fecha Aprobación: 15 de Febrero de 2017

Quienes a continuación autentican con su firma la autorización para la digitalización e inclusión en el repositorio digital de la Universidad del Tolima, el:

Día: **01** Mes: **NOVIEMBRE** Año: **2017**

Autores:

Firma

Nombre:	HEIDI BRIGGITY HORTA TÉLLEZ		C.C.	1.110.540.550
Nombre:	_____	_____	C.C.	_____
Nombre:	_____	_____	C.C.	_____
Nombre:	_____	_____	C.C.	_____

El autor y/o autores certifican que conocen las derivadas jurídicas que se generan en aplicación de los principios del derecho de autor.